

*М.І. ЧЕРНОВОЛ, В.М. САЛО,
Ю.В. МАЧОК, П.Г. ЛУЗАН,
С.В. МАРТИНЕНКО*

***ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗАГОРТАЮЧИХ
СИСТЕМ ПОСІВНИХ МАШИН***



КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**М.І. ЧЕРНОВОЛ, В.М. САЛО, Ю.В. МАЧОК,
П.Г. ЛУЗАН, С.В. МАРТИНЕНКО**

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ЗАГОРТАЮЧИХ СИСТЕМ ПОСІВНИХ МАШИН**

МОНОГРАФІЯ

Кіровоград
Видавець Лисенко В.Ф.
2012

УДК 631.33.024.2: 631.791.763

ББК 40.724

Ч-49

Рецензенти:

Дідух В.Ф. – завідуючий кафедрою експлуатації та технічного сервісу машин ім. професора Семковича О.Д. Львівського національного аграрного університету, доктор технічних наук, професор

Пастухов В.І. – завідуючий кафедрою сільськогосподарських машин ХНТУ ім. Василенка П.М., доктор технічних наук, професор;

Павленко І.І. – завідуючий кафедрою технології машинобудування Кіровоградського національного технічного університету, доктор технічних наук, професор.

Монографію розглянуто й схвалено до друку на засіданні вченої ради Кіровоградського національного технічного університету (протокол № 2 від 30 жовтня 2012 року).

Черновол М.І. Забезпечення довговічності робочих органів загортаючих систем посівних машин / М.І. Черновол, В.М. Сало, Ю.В. Мачок, П.Г. Лузан, С.В. Мартиненко.- Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012- 148 с.
ISBN 978-966-2570-53-3

У монографії наведено вирішення наукової задачі підвищення довговічності вертикально розміщених ґрунторізальних елементів сошників зернових сівалок шляхом контактного наварювання зносостійкої композиційної кераміко-металевої стрічки з реалізацією ефекту самозагострювання. Значна увага приділена теоретичному аналізу характеру та закономірностей зношування різального елемента в процесі його взаємодії з ґрунтом. У роботі використані результати власних досліджень, а також результати досліджень українських та зарубіжних вчених.

Монографія призначена для наукових співробітників, аспірантів, магістрантів, конструкторів сільськогосподарської техніки та фахівців сільського господарства.

ББК 40.724

Монографія підготовлена в рамках роботи над виконанням фундаментального дослідження “Науково-технологічні основи обґрунтування параметрів робочих органів сучасних посівних систем”, (№ ДР 0111U000301).
ISBN 978-966-2570-53-3

© Черновол М.І., Сало В.М., Мачок Ю.В., Лузан П.Г., Мартиненко С.В., 2012
© Видавець Лисенко В.Ф., 2012

ВСТУП

Інтенсивне зношування лез ґрунторізальних елементів призводить до втрати їх конструктивних параметрів, які забезпечують якісне виконання технологічного процесу борозноутворення. Внаслідок їх затуплення збільшується тяговий опір сошників, що негативно впливає на енергоємність процесу сівби, формує потребу в додатковому загострюванні або при граничному зносі – заміні. Крім того, наслідком затуплення лез є зменшення глибини загортання насіння, що негативно впливає на умови проростання, розвитку рослин та урожайність. Зазначені чинники знижують техніко-економічні показники зернових сівалок, підвищують собівартість виробництва сільськогосподарських культур, що за сучасних ринкових умов господарювання знижує їх конкурентноздатність.

Низький термін служби ґрунторізальних елементів сошників сівалок потребує виготовлення їх у великій кількості як запасних частин, що значно підвищує собівартість посівних робіт. Гостро постає питання про створення таких конструкцій сошників, які могли б рівномірно загорнути насіння на задану глибину та зберігати функціональні властивості протягом всього терміну експлуатації борозноутворюючими елементами.

Очевидною є необхідність підвищення довговічності ґрунторізальних елементів сошників зернових сівалок шляхом впровадження у виробництво сучасних технологій їх зміцнення. Закономірності процесу та характер їх зношування достатньо складний і практично не розкритий. Відомі технологічні способи та традиційні матеріали, які використовують для зміцнення лез не вирішують поставленої задачі, тому навіть незначне збільшення ресурсу таких робочих органів, дозволить суттєво зменшити витрати на виробництво сільськогосподарської продукції.

Перспективним є використання розглянутих в роботі сучасних композиційних матеріалів, та сформованих на їх основі зносостійких кераміко-металевих покриттів.

1. АНАЛІЗ ПРИЧИН НИЗЬКОЇ НАДІЙНОСТІ ТА СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СОШНИКІВ ПОСІВНИХ МАШИН

1.1. Конструктивні характеристики, класифікація та основні напрямки вдосконалення сошників посівних машин

Кількість та якість сходів зернових культур істотно залежить від того, де після сівби розміщується насіннєвий матеріал - в поверхневих шарах ґрунту на певній глибині чи на його поверхні. Звісно, що при цьому деяка частина посівного матеріалу втрачається, а частина сходів – вимерзає чи висушується, що не може не вплинути на кількість та якість урожаю. Тому гостро постає питання про створення посівних машин, які могли б рівномірно розподілити по полю насіння та загорнути його на задану глибину. Провідну роль у вирішенні даної проблеми відіграють розробки та впровадження у виробництво загортаючих систем (сошників).

В зв'язку з цим, проектування та вдосконалення загортаючих систем посівних машин – є одним із основних напрямків розробки посівної техніки. Від конструкції сошників та їх надійності залежить якість загортання насіння, а отже і якість та обсяг врожаю. Починаючи із зазначеного часу, в виробництві почали з'являтися сошники – прообрази сучасних загортаючих систем [9,87,88].

Спочатку було вдосконалено розкидний спосіб, застосувавши комбіноване знаряддя, в якому було об'єднано розкидну сівалку з плугом. Тут леміш корпусу розпушував ґрунт на який укладалось та частково загорталось насіння [88,125,126].

Надалі даний процес було розділено і борозноутворення проводилось окремими робочими органами.

Наприкінці XIX століття було створено сошники з тупим та гострим кутами входження в ґрунт [88,125]. Перші застосовувались для роботи на добре оброблених ґрунтах. В силу своїх конструктивних особливостей при

борозноутворенні вони переміщують ґрунт у вертикальній площині згори донизу ущільнюючи ложе, не виносячи на поверхню нижні вологомісткі шари. Це дозволило найбільш широко застосовувати їх в зонах недостатнього та нормального зволоження.

Сошники з гострим кутом входження в ґрунт використовувались здебільшого для сівби на грубооброблених, щільних ґрунтах. Через те, що наральники даних сошників під час борозноутворення переміщували ґрунт знизу вгору, виносячи на поверхню вологомісткі шари, то найбільш широкого застосування вони знайшли в зонах надлишкового зволоження.

Дещо пізніше з'явилися сошники з прямим кутом входження в ґрунт для роботи по обробленій стерні на ґрунтах, які піддаються вітровій ерозії.

Диференціацію конструкцій сошників в залежності від кута входження в ґрунт можна покласти в основу їх сучасної класифікації на (рис. 1.1).

Низький рівень агротехніки підготовки поля до сівби вимагав створення конструкції сошника, яка дозволяла б перерізати під час роботи рослинні рештки та самоочищатися від ґрунту. В зв'язку з цим, розробниками посівної техніки було запропоновано конструкції однодискового та дводискового сошників, які стали в подальшому найбільш поширеними, і в теперішній час є основними загортаючими робочими органами зернових сівалок. Отже, пасивні борозноутворюючі системи були замінені активними (під час роботи за рахунок контакту з ґрунтом диски здійснюють обертальний рух). В силу своєї активності диски самоочищаються, добре працюють на погано обробленому, засміченому рослинними та пожнивними рештками ґрунті.

Подальше вдосконалення дискових сошників проводилось в основному в двох напрямках: підвищення їх надійності та рівномірності розподілу насіння по площі (створення сошника для вузькорядкової сівби). Однак, очевидні переваги дискових сошників, пов'язані з їх невибагливістю до умов роботи нівелюються низьким рівнем якості загортання насіння. Практика показує, що дискові сошники не в повній мірі відповідають агротехнічним вимогам,

особливо на швидкостях більших 8 км/год, коли значна кількість насіння розміщується на поверхні ґрунту.



Рис. 1.1. Класифікація сошників посівних машин

Це пояснюється в основному тим, що під час обертання диски піднімають частинки ґрунту, в масу яких потрапляє насінина, контактує і переміщується разом з ними. Стало очевидним, що підвищення величини та якості урожаю можна досягти покращенням підготовки поля до сівби та умов загортання насіння [9, 87, 123, 125, 158, 159, 161].

Обґрунтування параметрів та технологічного процесу роботи сошників викладено в працях академіків П.М. Василенка, О.М. Карпенка, професорів М.М. Лєтошнєва, Ю.А. Вейса, А.Б. Лур'є, В.С. Басіна, І.В. Морозова, П.В. Сисоліна, В.М. Сало та інших [10,22,25,75,87,88,125-128,119,120].

В останні десятиріччя активно розробляються та досліджуються наральникові сошники на предмет покращення рівномірності розподілення насіння зернових культур по площі та глибині для створення найбільш сприятливих умов для проростання насіння.

Широкого використання серед наральникових сошників знайшли сошники із змінною кривизною наральника [88]. Для зменшення валкоутворення перед сошником та ущільнення дна борозни встановлено кіль. Його виготовляють напівкруглим в передній частині, загостреним в середній та трапецієвидним в кінці. подібні за конструкцією анкерні сошники з двома робочими наконечниками: з тупим та гострим кутами, які можуть обертатися навколо осі, змінюючи при цьому кут входження сошника в ґрунт тощо.

Розробляються і впроваджуються в виробництво сошники з конструктивними елементами, які ущільнюють ґрунт в зоні залягання насіння та сошники, які могли б добре працювати в ерозійно небезпечних зонах [88,127,128].

Проф. П.В. Сисоліним (КНТУ) розроблена конструкція полозкового сошника [97] призначеного для рядкової сівби зернових культур. Дослідження проведені Сисоліним П.В., В.М. Сало [127,128] підтверджують високі якісні показники роботи полозкових сошників.

Слід зазначити, що більшість відомих конструкцій сошників мають вертикально розміщене лезо з робочою поверхнею складної форми, що

обумовлює виникнення нерівномірного силового навантаження на нього та, відповідно, нерівномірного його зносу по довжині та ширині.

Проведений аналіз дає можливість стверджувати, що практично всі розробки, направлені на вдосконалення конструкції сошників, присвячені питанню забезпечення найкращих умов для розвитку рослин, але мало приділяється уваги довговічності сошників, особливо їх ґрунторізальних елементів.

1.2. Умови роботи та характер спрацювання ґрунторізальних елементів сошників з вертикально розміщеним лезом

Механізм абразивного зношування ґрунторізальних елементів з горизонтально розміщеними лезами розглянуто в багатьох роботах [14,44,46,49,50,53,55,66,132,145,156]. Але практично не вивчено механізм абразивного зношування ґрунторізальних елементів з вертикальним розміщенням лез та шляхів підвищення їх довговічності. Це ґрунторізальні елементи полозовидних, килевидних сошників просапних сівалок та полозкових сошників зернових сівалок.

Проаналізуємо умови роботи ґрунторізальних елементів полозкових сошників зернової сівалки ЗС-3,6 розробки проф. П.В. Сисоліна [97,127].

Полозкові сошники на відміну від інших сошників якісно працюють на ґрунтах, оброблених під сівбу зернових культур у відповідності до агротехнічних вимог [125-128].

Зважаючи на різноманітність типів ґрунтів (супіщані, піщані, суглинкові, глинисті) та наявність в них частинок різного гранулометричного складу, форми та твердості ґрунторізальних елементів сошників піддаються інтенсивному абразивному зношуванню.

Практика показує, що зі збільшенням напрацювання змінюється початкова геометрія леза полоза сошника. Так, при напрацюванні 20...25 га округлюється його попередньо загострене лезо, що свідчить про

неефективність його загострювання при виготовленні чи технічному обслуговуванні.

Для того, щоб розробити шляхи підвищення довговічності полозів необхідно дослідити закономірності їх взаємодії з ґрунтовими частинками.

Питанню взаємодії ґрунторізальних елементів сільськогосподарських машин з ґрунтовим шаром присвячені фундаментальні дослідження академіка Горячкіна В.П. [34].

Першу класифікацію видів зносу деталей сільськогосподарських машин запропонував В.Ф. Лоренц [73,74].

Найбільш змістовна класифікація видів зносу наведена в працях М.М. Хрущова [99,145] та Б.І. Костецького [62-65].

М.М. Хрущов вказує, що процесом, який викликає зношування металу в ґрунтовому середовищі є повторна деформація поверхневого шару абразивними зернами, в результаті чого в одних і тих же об'ємах металу внаслідок “перередеформації” виникають тріщини від втоми та відбувається крихке відокремлення частинок металу. Подібної думки дотримується і В.М. Ткачов [137,138], який при дослідженні механізму зношування робочих органів ґрунтообробних машин встановив три основні види руйнування поверхні металу: мікрорізання, багаторазове деформування, корозійно-механічний знос та знос від втоми, причому, в реальних умовах всі види абразивного зношування супроводжують один одного.

Костецький Б.І. [63] вважав, що до абразивного зношування відноситься процес, викликаний ковзанням, впровадженням і зрізанням твердими частинками мікрооб'ємів металу в його поверхневих шарах.

На думку В.Д. Кузнєцова [68,140] абразивне зношування – це процес, при якому поверхня деталі руйнується внаслідок тертя об неї невеликих твердих частинок, тобто, процес зводиться до великої кількості елементарних процесів подряпання і між явищами простого подряпання і абразивним зношуванням повинен існувати глибокий зв'язок.

Абразивні частинки, що знаходяться в контакті зі зношуваною поверхнею, можна поділити на дві групи. До першої слід віднести ті частинки, які в процесі взаємодії з поверхнею деталей здатні подолати силу зчеплення матеріалу. Вони безпосередньо створюють знос, але їх порівняно небагато. До другої групи відносяться ті частинки, тиск яких на площу контакту порівняний з межею текучості матеріалу, що зношується. Ці частинки безпосередньо не викликають зношування, але багаторазовим деформуванням одного і того ж місця поверхні прискорюють процес руйнування. Таке руйнування є умовним, оскільки одна і та ж частинка в різні моменти часу може викликати процес мікрорізання та пластичного деформування поверхні, що зношується.

Львов П.М. [77] вважав, що зерно кварцу прорізає канавку в зернах основи металу, але “перестрибує” через більш тверді зерна – карбіди, мартенсит тощо. При цьому процес зносу пояснює багаторазовим передеформуванням попередньо зруйнованого по краях подряпини металу, або “виламуванням” крихких структурних елементів, які виступають на поверхню по мірі зносу в’язкої основи навколо ізольованого карбідного зерна.

Присєвок А.Ф. [103] констатує, що зношування включає в себе дві самостійні стадії: впровадження частинки та її руйнівна дія при наявності тангенційних сил. Опір матеріалу на цих стадіях абразивного впливу і визначає його зносостійкість. При відносному переміщенні абразивних частинок опір руйнуванню поверхні тертя суттєво залежить від властивостей поверхневого шару матеріалу, наявності пластичного чи крихкого сліду подряпини визначає кінцеву величину зносу та характер руйнування.

Отже, загальний рівень опору матеріалів абразивному зносу визначається здатністю чинити опір впровадженню абразиву в поверхню та блокуванням його переміщення шляхом утворення тріщин та сколів.

Абразивно - зношуюча здатність ґрунту залежить також від його механічного складу. До найбільш агресивних частинок механічного складу ґрунту відносять “фізичний пісок” (діаметр частинок більше 0,01 мм), що містить кварц, твердість якого значно перевищує твердість загартованої сталі.

Досліджуючи зношування лемешів в польових умовах А.А. Батурін [11] дійшов висновку, що знос останніх головним чином залежить від механічного складу ґрунту. Найбільший вплив на абразивність ґрунту, на думку автора, чинять частинки розміром 0,10...0,25 мм.

Проводячи дослідження по визначенню впливу на знос матеріалів розміру абразивних частинок ґрунту М.Д. Канівець [49] встановив залежність впливу розміру абразивних частинок на абразивність середовища. В якості зразків використовувались п'ять фракцій з розмірами абразивних частинок від 0,1 до 3,0 мм. Отримані дані показали, що зі збільшенням діаметру частинок абразивні властивості середовища зростають. Так, зношування частинками діаметром 0,5...1,0 мм в чотири рази вище, ніж частинками діаметром 0,1...0,25 мм.

Дослідження багатьох авторів підтверджують і той факт, що на інтенсивність абразивного зношування металу в ґрунті, а також і на абразивно-зношуючу здатність ґрунту, значний вплив чинить твердість абразивних частинок.

Умови роботи вертикально розміщених ґрунторізальних елементів аналогічні умовам роботи лез зорієнтованим горизонтально чи під певним кутом до горизонту, але суттєво відрізняються характером їх спрацювання в силу того, що несуть різне силове навантаження по товщині та ширині. Через це на даний час ще не створено теорії, яка б в повній мірі розкрила механізм абразивного зношування таких лез в ґрунтовому середовищі.

ґрунторізальні елементи сошників в основному виготовляються із сталі 65Г. Традиційним методом їх зміцнення є об'ємне загартування: нагрівання до температури $T_z = 830^{\circ}\text{C}$ і середнє відпускання при температурі $T_v = 480^{\circ}\text{C}$ або високочастотне загартування. Твердість робочої частини знаходиться в межах 38...43 HRC_E.

Працездатний стан ґрунторізальних елементів визначається значеннями всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції відповідно вимогам конструкторської документації.

Основними параметрами, які характеризують функціональні якості ґрунторізальних елементів сошників є такі: здатність до заглиблення; тяговий опір переміщенню в шарі ґрунту; ресурс; міцність; здатність збереження гостроти леза стабілізованого ґрунторізального профілю.

Результати досліджень і аналіз мікрометражу спрацьованих ґрунторізальних елементів показують, що основною причиною відмов є знос профілю леза.

Спостереження за змінами профілю леза, виготовленого з однорідного металу в процесі зношування показують, що цей профіль по мірі зношування поступово стабілізується, тобто приймає форму, яка в подальшому залишається практично незмінною.

Очевидно, що характер спрацювання лез ґрунторізальних елементів буде різним і залежатиме від їх початкових геометричних параметрів та умов роботи, а також ступеню активності.

Дискові сошники, які мають вертикально розміщені ґрунторізальних елементів (плоскі диски діаметром 350 мм) в силу своєї активності, якщо не сталося заклинювання, зношуються радіально рівномірно до гранично допустимої величини [28,84,146], то наральникові з пасивними вертикально розміщеними лезами зношуються нерівномірно (рис. 1.2.).

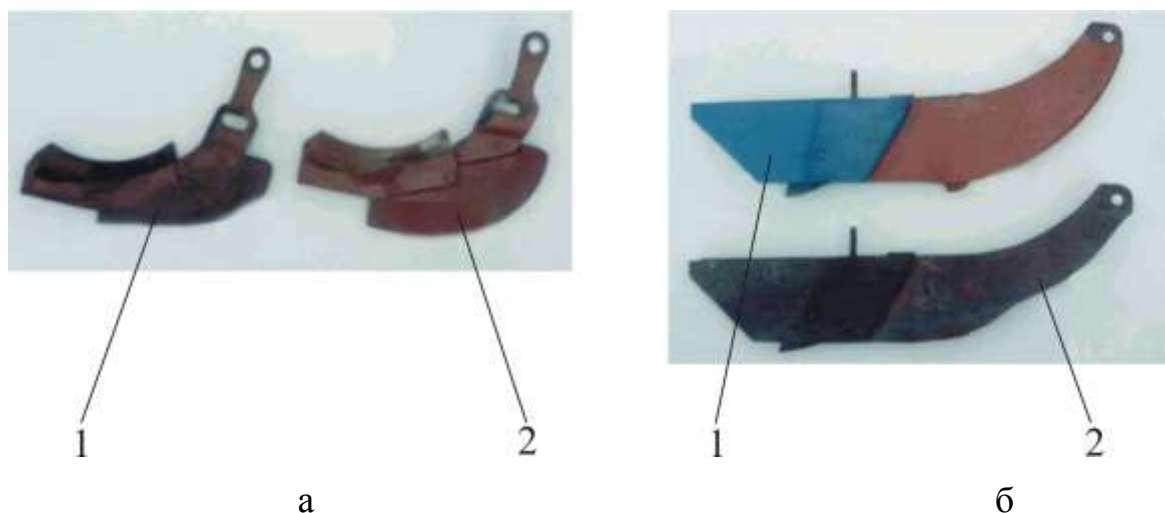


Рис.1.2. Характер зношування вертикально розміщених ґрунторізальних елементів сошників: а) наральникові килевидні: 1- зношений; 2 – новий; б) наральникові полозовидні: 1- новий; 2 – зношений.

1.3. Аналіз існуючих розрахункових методів оцінки довговічності різальних елементів робочих органів ґрунтообробних та посівних машин

Якість виконання функцій ґрунторізальними елементами ґрунтообробних та посівних машин, головним чином, залежить від гостроти їх лез. Тому прогнозування конструктивної зносостійкості лез є одним із шляхів підвищення довговічності відповідних вузлів сільськогосподарських машин.

В основі конструктивної зносостійкості, покладено аналіз зміни в часі працездатності зношуваних деталей. Розглядаються закономірності зношування, досліджені експериментально чи отримані з аналізу фізичної сутності процесу.

Використання розрахункових методів для знаходження оптимальних конструктивних та технологічних рішень суттєво полегшує процес створення довговічних машин. Використовуючи їх можна вирішити наступні задачі [29,94,47]:

- вибір та обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів деталей, які забезпечили б мінімальну швидкість зношування і можливо більш тривале збереження працездатності при найменшому впливі зносу на функціональні якості;
- встановлення граничних зносів деталей;
- підбір типорозмірів уніфікованих елементів для використання в даній конструкції машини;
- забезпечення рівностійкості вузлів чи деталей;
- підбір ефективних зносостійких матеріалів та методів зміцнення, обґрунтування вимог до фізико-механічних властивостей;
- проведення порівняльної оцінки термінів служби деталей декількох варіантів конструктивного виконання;
- прогнозування термінів служби деталей за результатами короточасних стендових чи експлуатаційних випробувань.

Методи розрахунку ґрунторізальних елементів, що працюють в абразивному середовищі, можна поділити на три групи [94]:

- статистичне прогнозування;
- аналітичні методи;
- методи обробки результатів лабораторних та стендових випробувань.

Перша група методів базується на збиранні статистичної інформації про деталі, які довго знаходяться в експлуатації. Завдяки отриманій інформації встановлюються граничні та допустимі зноси, визначається довговічність, враховуючи імовірнісний характер умов експлуатації робочих органів. Але використовувати результати даних розрахунків для визначення ресурсу деталей при зміні конструктивних параметрів, також при зміні технології виготовлення, зміцнення чи відновлення уявляється неможливим.

Крім цього, до числа недоліків даного методу слід віднести великі витрати часу і засобів на їх проведення.

Для оцінки процесу зношування широко застосовується аналітичний метод. П.М. Львов запропонував аналітичне визначення коефіцієнту зносостійкості металу [77], яке дозволяє встановити його залежність від мікротвердості структурних компонентів матеріалу та їх співвідношення у ньому:

$$K = \frac{1,11 \cdot \eta \cdot H_{Dk} + (1 - \eta) \cdot H_{Do}}{1,11 \cdot \eta' \cdot H'_{Dk} + (1 - \eta') \cdot H'_{Do}}, \quad (1.1)$$

де K – відносна зносостійкість;

η, η' – частка твердих зерен в загальній їх сумі відповідно в досліджуваному матеріалі та еталонному матеріалі деталі;

H_{Dk}, H_{Do} – мікротвердість більш твердого зерна і основи в досліджуваному матеріалі;

H'_{Dk}, H'_{Do} – мікротвердість твердого зерна та основи в досліджуваному матеріалі.

М.М Хрущовим та М.А. Бабичевим [145] запропоновано вираз для визначення величини відносної зносостійкості технічно чистих металів та термічно необроблених сталей, як функцію їх твердості:

$$\varepsilon = b \cdot H, \quad (1.2)$$

де ε – відносна зносостійкість;

b – коефіцієнт пропорційності;

H – твердість.

Для термічно оброблених вуглецевих та легованих сталей даний вираз матиме вигляд:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + b' \cdot (H + H_0), \quad (1.3)$$

де ε_0 , H_0 – відповідно відносна зносостійкість та твердість сталей у відпаленому стані;

b' - коефіцієнт, який залежить від хімічного складу сталі.

І.В. Крагельський [66] для оцінювання зношування деталей запропонував методи, які базуються на понятті питомої зносостійкості матеріалу:

$$i_i = \frac{V_m}{A_\delta \cdot d}, \quad (1.4)$$

де i_i – лінійна питома зношуваність;

V_m – об'єм матеріалу;

A_δ – фактична площа контакту;

d – середній діаметр плями контакту.

При цьому інтенсивність зношування пов'язується з фактичною та номінальною площею виступу контактуючого матеріалу, який взаємодіє з поверхнею металу:

$$I = i_i \cdot \frac{A_\delta}{A_a} = i_i \cdot \frac{P_a}{P_\delta}, \quad (1.5)$$

де A_δ , A_a – відповідно фактична та номінальна площа контакту;

P_δ , P_r – відповідно фактичний та номінальний тиск.

Аналіз запропонованих залежностей показує, що вони містять параметри, які важко піддаються розрахунку, що ускладнює їх практичне використання.

Для випадку тертя металу об абразивну поверхню М.М. Хрущов та М.А. Бабичев [145] встановили, що інтенсивність зношування пропорційна питомому навантаженню на поверхню тертя:

$$\frac{dh}{ds} = c \cdot P, \quad (1.6)$$

де $\frac{dh}{ds}$ - інтенсивність зношування;

P – питоме навантаження на поверхню тертя;

c – коефіцієнт, який залежить від властивостей матеріалу та зношуючої властивості абразивної поверхні.

Л.І. Погораєвим та В.А. Огородниковим [100] запропоновано зносостійкість матеріалів при абразивному зношуванні оцінювати по узагальненому критерію $W_{кр}$, який характеризує критичну щільність потоку енергії деформації. Використовуючи цей критерій можна визначити величину вагового зносу матеріалу:

$$\Delta G(t) = \frac{\gamma_m \cdot E \cdot v \cdot t \cdot \omega}{W_{кр}}, \quad (1.7)$$

де γ_m – питома вага матеріалу, який зношується;

t – період зношування;

ω – частота прикладання зовнішніх навантажень;

E – величина зовнішньої енергії, що вводиться в матеріал;

v – швидкість прикладання зовнішніх навантажень.

В роботі [14] запропоновано визначати питомий знос леза лемеша за виразом:

$$I_{\text{л}} = \mu \cdot q \cdot f \cdot T, \quad (1.8)$$

де $I_{\text{л}}$ – питомий знос леза лемеша;

μ – коефіцієнт, який враховує різницю у взаємодії з ґрунтом затилкової частини лемеша та наконечника плунжера ґрунтового твердоміра;

T – твердість ґрунту в шарі роботи лез лемешів;

q – коефіцієнт зв'язку;

f – коефіцієнт зносу.

М.М. Сєвернев та інші автори [44, 122] запропонували формулу для розрахунку повного терміну служби лемешів. Особливістю даної формули є те що при розрахунку повного терміну служби враховується перезагострення лемеша після затуплення:

$$T = \frac{K_v}{K \cdot \varepsilon \cdot m} \cdot \frac{h_\Sigma \cdot H}{P \cdot v_n}, \quad (1.9)$$

де K_v – величина, обернена коефіцієнту переходу від поступальної швидкості деталі до відносної швидкості переміщення абразивного середовища по її робочій поверхні;

K – коефіцієнт пропорційності;

ε – відносний знос матеріалу;

m – показник зношуючої здатності абразиву;

h_Σ – сумарний, гранично допустимий знос до вибракування;

H – твердість металу;

P – тиск абразиву на робочу поверхню деталі;

v_n – поступальна швидкість руху ґрунторізального елемента.

Приведена формула (1.9) найбільш повно описує всі можливі випадки зношування робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, але й вона має певні недоліки, а саме: недостатньо враховано властивості абразивного матеріалу та локальність характеру зношування.

Аналіз приведених теоретичних викладок вказує на те, що їх автори пов'язують питання розрахунку чи підвищення зносостійкості з фізико-механічними властивостями матеріалу ґрунторізальних елементів та властивостями абразивного середовища, не розглядаючи процесів формоутворення лез при взаємодії з ґрунтом, створення умов для їх самозагострювання.

Питаннями самозагострювання займалися багато дослідників [15,26,109,110], але лише в дослідженнях В.М. Ткачова [137,138] вони знайшли

найбільш повне обґрунтування. Ним сформульовано чотири основні умови самозагострення:

1. Радіус кривизни різальної кромки в процесі роботи не повинен перевищувати допустимих значень, зазначених в технічних умовах для конкретного ґрунторізального елемента: $r \leq r_0$.

2. Товщина несучого шару (більш пластичного основного металу) двошарового чи тришарового ґрунторізального елемента повинна бути мінімально можливою, щоб запобігти руйнуванню зміцненого шару: $\delta_n = \delta_{zm} K_m$, де δ_n , δ_{zm} - відповідно товщини несучого і зміцненого шарів, K_m - коефіцієнт міцності зміцненого шару ($K_m \geq 1$).

3. Твердості несучого і зміцненого шарів повинні мати співвідношення $H_{zm} = 1,2 \dots 2,8 H_n$.

4. Зміцненню, як правило підлягає та поверхня ґрунторізального елемента, яка найменше зношується, оскільки в протилежному випадку інтенсивності зношування зміцненого і несучого шарів можуть вирівнятися, що призведе до затуплення ґрунторізального елемента.

Наведені умови самозагострювання є результатом в більшій мірі експериментальних досліджень, ніж теоретичних.

Заслуговують на велику увагу теоретичні дослідження П.І. Прокопцева [105,106] по визначенню умови реалізації процесу самозагострювання. Ним вводиться нова характеристика [107] – структура зношування ґрунторізального елемента $k(x,t)$, яка визначається відношенням інтенсивності зношування $\gamma(x,t)$ в точці профілю з абсцисою $x > 0$ до інтенсивності зношування вершини леза $\gamma(0,t)$ у будь-який момент часу.

Отже, структура зношування монометалевих ґрунторізальних елементів і ґрунторізальних елементів зі стабілізованим профілем відповідно дорівнюють [107]:

$$k_m = \gamma_m(x,t)/\gamma_m(0,t); \quad k_s = \gamma_s(x,t)/\gamma_s(0,t) \quad (1.10)$$

Структуру зношування ґрунторізальних елементів визначають за динамікою зношування, алгоритм методу подано в роботі [108]. Для ґрунторізальних елементів такий показник можна оцінити аналітично.

Згідно роботи [108] в процесі самозагострювання знос фаски u_f і вершини леза u_0 зв'язані між собою співвідношенням:

$$u_f = u_0 \sin \alpha, \quad (1.11)$$

де α - кут нахилу фаски до напрямку зміщення профілю.

Співвідношення між інтенсивністю зношування фасок і вершини леза ґрунторізального елемента має аналогічний характер:

$$\gamma_s(x) = \gamma_s(0) \sin \alpha(x), \quad (1.12)$$

де $\alpha(x)$ - кут нахилу профільної кривої в точці до напрямку зміщення відносно осі. При цьому профільна крива стабільна за формою і розміром фронту тертя.

Зазначимо, що вираз (1.12) дає можливість визначити умови реалізації процесів самозагострювання і затуплення: $\gamma_s(x) > \gamma_s(0) \sin \alpha(x)$ - самозагострювання; $\gamma_s(x) < \gamma_s(0) \sin \alpha(x)$ - затуплення.

Розробка ґрунторізальних елементів полягає в доведенні структури зношування $k_m(x, t)$ до синусоїдальної $k_s(x)$ шляхом усунення відмінностей між цими структурами, що описується функцією стабілізації профілю:

$$\xi = k_s(x) / k_m(x, t) = \sin \alpha(x) / k_m(x, t) \quad (1.13)$$

Вираз (1.13) дає можливість визначити керуючу дію досягнення самозагострювання леза в умовах динаміки зношування шляхом стабілізації профілю.

Аналіз даних робіт [105,106,107,108] свідчить, що стабілізацію леза можна реалізувати наступним чином:

- по-перше, надати лезу початковий профіль, за формою і за розміром близький до вибраного із спостережень динаміки зношування ґрунторізального елемента в той чи інший момент t_s ;

- по-друге, створити для леза матеріал шаруватої (чи градієнтної) структури, орієнтованої в напрямку зміщення профілю;

- по-третє, забезпечити зміну зносостійкості матеріалу леза від шару до шару у відповідності зі стабілізуючою функцією (1.13), наведеної в роботі [108].

Кут α вимірюють безпосередньо в точках профілю для часу $t = t_s$, а структуру зношування наближено визначають за виразом:

$$k_m \approx \frac{u_f(x, t_s)}{u(0, t_s)}, \quad (1.14)$$

де u_f , u - величина лінійного зносу в точках x відносно бокових фасок і вершини леза за певний проміжок часу.

При моделюванні динаміки процесу зношування використовується апроксимація координатних точок профільних кривих алгебраїчними поліномами і кусково-заданими функціями (сплайнами):

$$y = u(t) + y_p(x, t), \quad (1.15)$$

де $u(t)$ – функція, що апроксимує зміну величини зношування леза по ширині–переміщення вершини леза по осі OY в нерухомій системі координат;

$y_p(x, t)$ - функція зі змінними в часі коефіцієнтами, яка моделює еволюцію профільної кривої в нерухомій системі координат з центром у вершині леза і осями, паралельними осям нерухомої системи координат.

Згідно роботи [108] динаміку переміщення вершини леза достатньо точно описує поліном 3-го степеня:

$$u(t) = a_{0x}a_{01}t + a_{02}t^2 + a_{03}t^3. \quad (1.16)$$

Його можна застосувати і до апроксимації профільних кривих:

$$y = U(t) + [a_{11} + a_{12}(t - t_s)]x + [a_{21} + a_{22}(t - t_s)]x^2 + a_{31}(t - t_s)x^3. \quad (1.17)$$

Модель динаміки зношування різального елемента стабілізованого профілю впливає з моделі ґрунторізального елемента для випадку стабілізації швидкості зношування вершини леза і форми його профілю:

$$y_s = a_{00} + a_{01}t_s + a_{02}t_s^2 + a_{03}t_s^3 + (a_{01} + 2a_{02}t_s + 3a_{03}t_s^2)(t - t_s) + a_{11}x + a_{21}x^2 + a_{31}x^3. \quad (1.18)$$

В рівнянні (1.18) три останні доданки описують стабілізовану профільну криву при $t = t_s$.

Таким чином, методи розрахунку ґрунторізальних елементів, що працюють в абразивному середовищі, в основному зорієнтовані на стабілізацію їх профілю та формуванні умов реалізації ефекту самозагострювання.

1.4. Способи підвищення довговічності різальних елементів ґрунтообробних і посівних машин

Вагомий вклад в підвищення довговічності ґрунторізальних елементів ґрунтообробних і посівних машин внесли професори А.І. Бойко, О.В. Козаченко, М.М. Сєвернєв, В.Н. Ткачов, М.І. Черновол [18-20, 44, 59, 122, 137, 138, 147-151] та інші дослідники [4,5,7,16,17,21,42,43,92,111,116,118,133].

Підвищення довговічності різальних елементів ґрунтообробних і посівних машин проходить трьома основними шляхами. Перш за все – це вдосконалення конструкції; другий шлях пов'язаний з пошуком і використанням більш зносостійких матеріалів; третій, поєднуючи переваги першого та другого, був спрямований на створення зміцнених шарів на різальних елементах з реалізацією ефекту самозагострювання.

Одним із ефективних шляхів підвищення довговічності ґрунторізальних елементів ґрунтообробних і посівних машин є використання зносостійких матеріалів у вигляді покриттів. Для ручного зносостійкого наплавлення покриттів на ґрунторізальні елементи застосовуються електроди марок ОЗН-400, Т-620, ВСН-8 [61] та деякі закордонні марки Super 20, Delcrome alloy № 91 та спеціальні наплавочні електроди таких марок: Castodur 6256, Castolin 6006, Ultimum 112, ЭН-ИТС-01, ЭН-ИТС-02 [36,158]. Виявлено [35,147,151,153], що зносостійкість покриттів, наплавлених електродами ЭН-ИТС-01, ЭН-ИТС-02 в порівнянні з наплавленням Сормайтом-1 чи електродом Т-620 в 1,3...2 рази вища. Прутки для наплавлення і напилення покриттів застосовуються в основному для газополум'яного і аргоно-дугового наплавлення в якості присадних матеріалів, а також для газополум'яного напилювання [148]

При нанесенні зносостійкого покриття наплавленням на робочі поверхні ґрунторізальних елементів, використовують матеріали, які можна поділити на чотири групи [40,45,137,138]:

сормайти – сплави на залізно-хромовій основі з марганцем і нікелем наступних марок: ПР-С27, ПР-С1, ПР-С2;

стеліти – сплави на основі кобальту: ПР-ВЗКР, ПР-31316К;

реліти трубчасто-зернові: ТЗ-25-7, ТЗ-11-5, ТЗ-6-5;

сталініт – сплав на залізній основі: сталініт М.

Перспективними для нанесення зносостійких покриттів наплавленням, газотермічним напиленням та припіканням є порошкові матеріали. Вони можуть виготовлятися на основі заліза, нікелю, кобальту чи їх сумішей. Промисловість випускає для наплавлення на основі заліза гранульовані порошки із сплавів наступних марок: ПГ-УС25, ПГ-С27. До порошкових наплавних сумішей також відносяться сталініт, УС-25, вокар; шихти С-2М, КБХ, БХ та ВИСХОМ-9 [48,61,124].

Дослідженнями абразивної зносостійкості в умовах динамічних навантажень, проведеними в роботах [36,124,156,160] встановлено, що найбільш високими показниками володіють матеріали ВСН-6, КБХ-45 та ЭТН-2.

Для отримання зносостійких покриттів газотермічним напиленням застосовують наступні групи порошків:

- порошки із сплавів, що самофлюсуються на нікелевій, нікель-хромовій та кобальтовій основах марок ПН-77×15СЗР2, ПН-73×16СЗР3;

- порошки з металевих сплавів, серед яких широкого розповсюдження набули сплави нікелю з титаном ПТ88Н12, сплави на залізній основі - ПР-18×16Н8Ф3ТЗР, ПР-10Г10Т11Р5;

- порошки з карбідів та оксидів металів.

Ефективним є зміцнення робочих органів ґрунтообробних і посівних машин карбідними псевдосплавами системи ПС. При цьому робочі поверхні деталей наплавляють індукційним способом псевдосплавами ПС-4 (40%

Сормайт 1 + 60% феррофром), ПС-5 4 (40% Сормайт 1 + 58% феррофром + 29% ферротитан).

Останнім часом широкого використання набули керамічні матеріали [2,13,46,49,80,147,154], які володіють рядом унікальних фізико-механічних властивостей. В сільськогосподарському машинобудуванні поширення набули: Al_2O_3 (корунд), SiC_2 (ситал БЛ), SiC (карбід кремнію), Si_3N_4 (нітрид кремнію), карбіди Ti , Cr , W і деякі інші матеріали.

Керамічні матеріали можуть бути використані для виготовлення суцільних деталей, окремих елементів (накладок, вставок, пластин), а також нанесення покриттів. Широкого використання у нас і за кордоном отримала кераміка у вигляді окремих елементів (накладок, вставок, пластин) для зміцнення деталей ґрунтообробних машин [154]. Відомі роботи по зміцненню польових дошок і долот культиваторів –плоскорізів вставками з кераміки ВК-94 на основі оксидів алюмінію, отриманих холодним пресуванням. Випробування показали високу зносостійкість кераміки одночасно з її недостатньою ударною міцністю [154].

Фірма “Смітс Індастріз” виготовляє лапи культиваторів і полиці плугів з керамічним покриттям на основі оксиду алюмінію. Керамічні пластинки прикріплюються до різальної кромки робочих органів за допомогою високоміцної епоксидної смоли. При цьому зносостійкість лап культиваторів і полиць збільшилась в 7 разів [154]. Зносостійка кераміка використовувалась також для зміцнення сошників сівалок точного висіву насіння цукрових буряків і овочевих культур фірм “Webb” і “Stenhay”. Було виявлено, що сошники з керамічними наконечниками в 4...5 разів мають більший ресурс ніж вітчизняні серійні сошники [154].

Останнім часом для наплавлення та напилювання покриттів застосовуються прутки з керамічних матеріалів марок: CR80A, KP80ZB, ZP70B.

Більш технологічними і не менш зносостійкими є композиційні матеріали в основу яких покладено поєднання в одному об’ємі матеріалів різних класів

(метал, кераміка, полімер), які володіють різними вихідними властивостями [54,147-151].

Завдяки тому, що композиційні матеріали можна конструювати і отримувати їх з заданими фізико-механічними характеристиками, вони володіють унікальними властивостями в порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами та керамікою.

Властивості композиційних матеріалів залежать в основному від якісного та кількісного співвідношення керамічної та металевої складових. Якщо задати об'ємний вміст наповнювача і реалізувати його відповідними технологічними операціями, то необхідну міцність зв'язків на границях фаз можна забезпечити керуючи процесами рідко – та твердофазної взаємодії [51,52] і поєднанням певної сукупності властивостей складових матеріалу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Властивості металів та речовин, які використовуються в якості основних складових матриць та наповнювачів композиційних покриттів [54]

Метал, речовина	Щільність, кг/м ³	Температура плавлення, °C	Теплопровід- ність, Вт/(м·K)	Коефіцієнт термічного розширення, град ⁻¹	Модуль пруж- ності, ГПа	Мікротвер- дість, МПа	Термодинамічні властивості	
							Теплота утворення ΔH_{298} , кДж/моль	Стандартна ентропія S_{298} , Дж/моль·K
Залізо	7,8	1536	73	11,7	215	589	0	27,15
Нікель	8,8	1453	67	13,0	197	1760	0	29,86
Кобальт	8,9	1493	70	12,1	219	1290	0	30,04
Хром	7,19	1875	67	8,2	300	1260	-	-
Карбіди								
Cr ₃ C ₂	6,73	1890	20,9	10,0	380	18000	97,812	85,272
TiC	4,93	3250	17,1	8,2	510	31700	209,0	24,740
WC	15,8	3143	45,2	6,1	731	21000	35,112	35,530
Оксиди								
Al ₂ O ₃	3,97	2040	29,3	8,0	372	20700	1675,557	51,020
Cr ₂ O ₃	5,1	2300	13,2	9,6	-	29400	1130,436	81,224
TiO ₂	4,2	1840	3,4	10,0	273	6000	941,611	50,283

Для нанесення зносостійких покриттів їх випускають у вигляді порошків, електродів, дроту, стрічки [112,148,149,151,157].

Композиційні порошки являють собою інтегрований комплекс вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса) в кожній порошковій частинці.

За будовою розрізняють плаковані, конгломератні та змішані композиційні порошки (рис. 1.3).

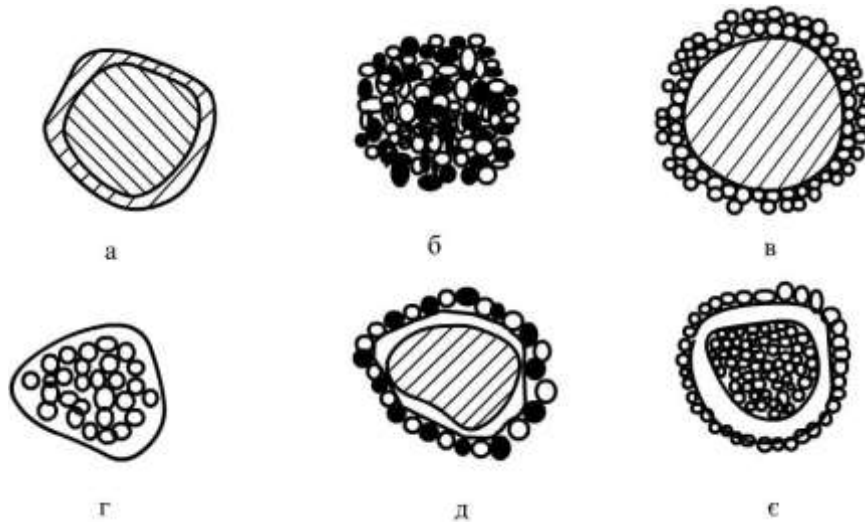


Рис. 1.3. Основні типи будови композиційних порошків: а – плаковані; б – конгломератні; в-е – змішаного типу

Плакована частинка (рис. 1.3, а) являє собою вихідну частинку (ядро) одного з матеріалів, на поверхні якої розміщений один або декілька шарів інших матеріалів. Частинка композиційного порошку конгломератного типу (рис.1.3, б) сформована з великої кількості вихідних частинок декількох матеріалів. Комбінація даних двох основних типів дає можливість отримати композиційні порошки змішаного типу (рис. 1.3, в-е).

Коротка характеристика найбільш поширених вітчизняних композиційних порошків, які застосовуються для нанесення зносостійких покриттів, наведена в таблиці 1.3.

Оскільки, застосування порошкових композиційних матеріалів не завжди є технологічним, то, здебільшого, на практиці застосовують компактні композиційні матеріали: порошкові дроти та стрічки, спечені кільця, порошково-полімерні стрічки, спечені стрічки.

Композиційні порошки для нанесення покриттів [148]

Матеріал	Марка	Масовий склад, %
Нікель+карбід вольфраму	ВНП-15	15...20 Ni
	ВНП-20	
	ПКВН-20	20...50 Ni
	ПКВН-50	
Нікелевий сплав+карбід вольфраму+алюміній	ПТ-19НВК-01	16...20 WC 8 Al
Нікель+оксид алюмінію	ПОАН-70	70...30 Ni
	ПОАН-60	
	ПОАН-30	
Нікель+карбіди хрому та титану	ПКХТН-40	40...20 Ni
	ПКХТН-30	
	ПКХТН-20	
Нікель+карбід титану	КТНП-35	35 Ni
Нікель+карбід хрому	КХНП-20	20...30 Ni
	КХНП-25	
	КХНП-30	
	КХН-15	15...30 Ni
	КХН-30	
Нікель+алюміній+карбід хрому	НАКХ-20	20...30 Ni
	НАКХ-25	
	НАКХ-30	
Нікель+алюміній+карбід вольфраму	НАКВ-20	70...80 WC
	НАКВ-25	
	НАКВ-30	
Нікель+алюміній+карбід титану	НАКТ-20	70...80 TiC
	НАКТ-30	
кобальт+карбід хрому	КХК-20	20...40 Co
	КХК-40	

Порошкові дроти та стрічки мають досить складну будову: мають металеву оболонку, виготовлену з холоднокатаної стрічки заповненої порошковим матеріалом заданого складу та розмірів [40,104,153].

Порошкові стрічки (рис 1.4) виготовляють згідно ГОСТ 26467-85 двох типів: А (рис 1.4 а) - двозамкові та Б (рис 1.4 б) - однозамкові.

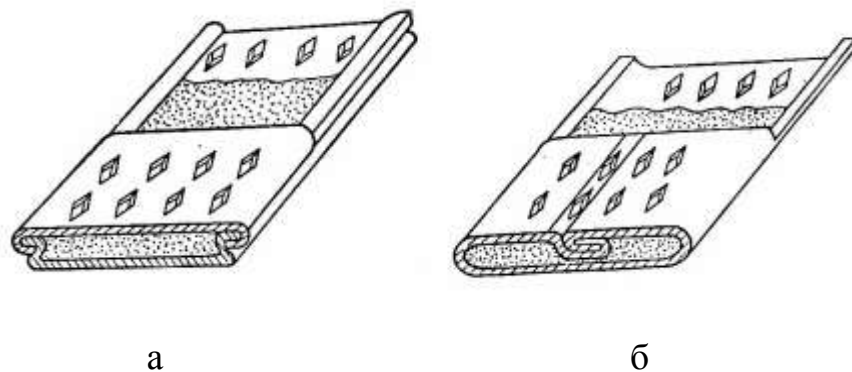


Рис. 1.4. Конструкції порошкових стрічок: а - двозамкова; б - однозамкова

За аналогічною технологією виготовляються й порошкові дроти, але конструктивне виконання їх набагато різноманітніше (рис. 1.5). Безперечно, за певних умов компактні порошкові стрічки та дроти володіють значними перевагами перед порошковими матеріалами тому, що вони пластичні, не потребують підготовчої роботи при використанні, можуть бути присадними матеріалами в різних способах нанесення покриттів. Але, наявність металевої оболонки в значній мірі нівелює можливість точного проектування складу, а отже і властивостей композиційних покриттів. Цього недоліку позбавлені спечені композиційні стрічки, які отримують методами порошкової металургії шляхом холодного прокочування суміші композиційних (плакованих керамічних і матричних матеріалів) порошоків з подальшим спіканням в печі в захисній атмосфері інертного газу.

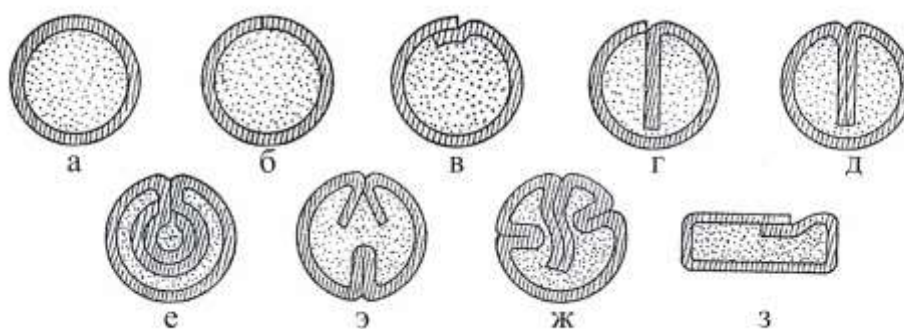


Рис. 1.5. Конструкції порошкових дротів: а—трубчастий безшовний; б—трубчастий стиковий; в—трубчастий з напуском кромки; г—трубчастий з одним загином оболонки; д—трубчастий з двома загинами оболонки; е—трубчастий двошаровий; є, ж—складного перерізу; з—плющений

На відміну від спеченої кераміки композиційні стрічки володіють достатньо високою пластичністю близькою до пластичності порошкових дротів та стрічок і знайшли широке використання при створенні зносостійких покриттів [147].

Для нанесення вищезгаданих матеріалів при зміцненні ґрунторізальних елементів застосовують різні способи. Ефективним способом підвищення зносостійкості є електрошлакове порошкове наплавлення робочих поверхонь карбідами та боридами, в основному карбідами кремнію та бору. Електрошлакове наплавлення карбідів кремнію та бору можлива лише при утворенні адгезійно-активного підшару, який забезпечує утворення проміжного шару, що має спорідненість з матеріалом наплавленого шару та основним [148].

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних і посівних машин найбільшого розповсюдження отримало індукційне наплавлення. Для отримання зносостійкого шару індукційним способом застосовуються крім шихти, що складається із твердих порошкових сплавів типу “Сормайт-1”, УС-25, ПГС-27М, плавненого та зварного флюсів, композиційні порошки КХН-15, боридні евтектичні покриття [148].

Порівняно новим способом наплавлення деталей є електроферромагнітне наплавлення. В якості феропорошку застосовують феробор марки ФБ-17.

Для підвищення зносостійкості поверхонь дуже ефективним є спосіб електроіскрового легування. В якості матеріалів для нанесення зносостійкого покриття використовуються тверді сплави ВК-3, ВК-8, Т15К6, литий карбід вольфраму тощо [148-150].

Активно розвиваються всі різновиди цього способу напилення: плазмове; газополуменеве, детонаційне і дугове. Вони можуть використовуватися для отримання композиційних металокерамічних та кераміко-металевих покриттів, а також для отримання багат шарових покриттів з металу та кераміки [148].

Вище розглянуті способи зміцнення деталей робочих органів сільськогосподарських машин відносяться до групи рідкофазних способів, основним і суттєвим недоліком яких є значний термічний вплив як на матеріал

основи, так і на покриття. Більш перспективними з огляду на це є рідкотвердофазні та твердофазні методи нанесення покриттів [51, 52], найбільш поширеними з яких є контактне наварювання композиційних матеріалів (рис. 1.6).

Наварювати можна найрізноманітніші матеріали – сталю чи порошкову стрічку необхідного складу, сталевий чи порошковий дріт, припікати порошкові матеріали.

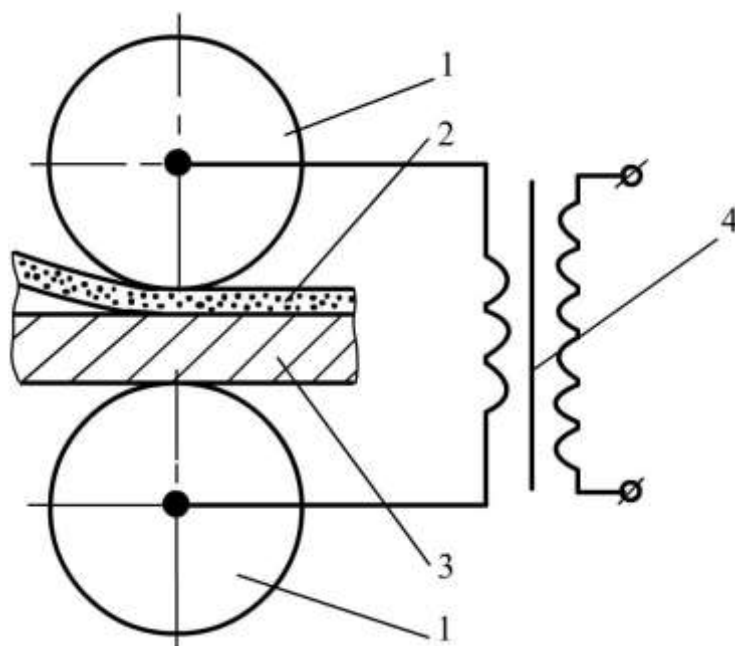


Рис. 1.6 Схема процесу контактної наварювання спеченої композиційної стрічки: 1-роликові електроди; 2-спечена композиційна стрічка; 3-основа деталі; 4-джерело живлення

Переваги контактної наварювання полягають в відсутності нагрівання деталей, загартуванні шарів металу основи та покриття безпосередньо під час наварювання, зменшенні витрат присадного матеріалу в 3-4 рази в порівнянні з дуговим наплавленням, високій продуктивності, економії електроенергії, відсутності вигорання легуючих елементів, можливості регулювання товщини шару, що наварюється в межах 0,10...1,5 мм. Даний спосіб не має негативного впливу на стан навколишнього середовища і здоров'я оператора [51,52].

Найбільш широке використання даний спосіб знайшов при відновленні та зміцненні деталей типу “вал” [147]. Зміцнення контактним наварюванням зносостійких матеріалів на плоскі деталі практично не вивчено.

В роботі [80] на прикладі диску дискового сошника пропонується технологія зміцнення контактним наварюванням різальних елементів сільськогосподарських машин шламом інструментальної сталі ШХ-15, який є відходом шліфування шарикопідшипникового виробництва. Проведені дослідження показали, що зносостійкість утвореного покриття в 2,75 рази вища зносостійкості сталі 65Г.

Ефективним способом збільшення строку служби ґрунторізальних елементів ґрунтообробних і посівних машин є контактне наварювання зносостійких порошкових матеріалів, а саме, попередньо сформованих композиційних кераміко-металевих стрічок.

Особливістю наварювання порошкових стрічок є те, що при нагріванні по всій товщині шару в силу множинності перехідних опорів всередині нього, нагрівається і суміжна ділянка деталі. В залежності від інтервалів температур плавлення різних компонентів композиційних матеріалів в них відбуваються неоднакові зміни. Частинки тугоплавких матеріалів залишаються незмінними чи подрібнюються, середньоплавких – пластично деформуються і спікаються, легкоплавких – плавляться і заповнюють пори між частинками, які мають більш високу температуру плавлення. Наварений шар практично завжди залишається гетерогенним, складається з тих же частинок, що вихідний композиційний матеріал [147].

Таким чином, аналіз способів зміцнення робочих поверхонь ґрунторізальних елементів, свідчить, що при реалізації ефекту самозагострювання перевагу можна надати контактному наварюванню композиційних покриттів з використанням композиційної композиційних кераміко-металевих стрічок.

Аналіз стану питання за літературними джерелами вітчизняних та зарубіжних вчених щодо підвищення довговічності ґрунторізальних елементів

робочих органів посівних та ґрунтообробних машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, дозволив зробити наступні висновки:

1. Серед загортаючих систем посівних машин найбільш поширеними є сошники з тупим кутом входження в ґрунт з вертикально розміщеними ґрунторізальними елементами.

2. В процесі експлуатації ґрунторізальні елементи сошників піддаються інтенсивному абразивному зношуванню, що є однією з найбільш вагомих причин погіршення якості загортання насіння та підвищення тягового опору сівалок під час сівби.

3. Порівняльний аналіз величини та характеру зношування ґрунторізальних елементів робочих органів ґрунтообробних та посівних машин показав, що перспективним методом підвищення їх довговічності є застосування композиційних кераміко-металевих матеріалів, а саме, попередньо спроектованих та сформованих у вигляді композиційних кераміко-металевих стрічок.

4. З існуючих на сьогодні способів нанесення композиційних покриттів найбільш ефективними з точки зору технологічних можливостей та експлуатаційних властивостей покриття є способи твердофазного формування покриття, а саме, спосіб контактного наварювання.

5. Численні дослідження вказують на те, що найбільш широко застосовується спосіб контактного наварювання для нанесення покриттів на деталі типу “вал”, але процес нанесення композиційних кераміко-металевих стрічок на плоскі поверхні деталей цим способом та властивості отриманих покриттів вивчені недостатньо і потребують теоретичних та експериментальних досліджень.

У відповідності до наведених висновків в монографії розглянуті питання забезпечення довговічності вертикально розміщених ґрунторізальних елементів полозкових сошників зернових сівалок з реалізацією ефекту самозагострювання шляхом контактного наварювання на їх лезо зносостійкої композиційної кераміко-металевої стрічки.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГРУНТОРІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

2.1. Аналіз взаємодії полозкового сошника з ґрунтом

Абразивне зношування деталей машин є дискретним випадковим процесом, при якому утворюється випадку нестационарна система одиничних фрикційних контактів. Внаслідок механічної взаємодії деталей з ґрунтом у їх поверхневому шарі виникають напруження і деформації, здатні викликати деструктивні процеси, активність яких залежить від сил тертя, властивостей матеріалів і зовнішнього середовища [30,32,50,56,86,93,115,136,156]. Найбільш інтенсивне зношування металевих поверхонь виявляється при впливі на них твердих абразивних частинок або їхніх конгломератів мінерального походження (ґрунт, гірські породи).

Абразивне зношування містить у собі широкий спектр процесів взаємодії матеріалу деталей з середовищем ґрунту. При цьому умови зношування визначають відповідний механізм руйнування деталей машин, що залежить від багатьох факторів. В роботі досліджено їх вплив на інтенсивність і характер процесів абразивного зношування полозкових сошників сільськогосподарської посівної техніки.

Процес зношування полозу сошника в характерних зонах розглянуто на основі рівняння Хрущова-Бабічева [145].

При цьому інтенсивність зношування пропорційна питомому навантаженню на поверхню тертя:

$$\frac{dU}{dS} = Kp, \quad (2.1)$$

де U - лінійний знос; S - напрацювання; p - питоме навантаження на поверхню тертя; K - коефіцієнт, який залежить від властивостей деталі та ґрунту.

Оскільки коефіцієнт K залежить від властивостей матеріалу деталі та ґрунту, то використовуючи метод розмірностей, маємо:

$$K = \frac{\rho_m \mu R_a}{b E_m W \rho_{ep} k_{ep}}, \quad (2.2)$$

де ρ_m – густина матеріалу полозу сошника;

μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу полозу сошника;

R_a – шорсткість робочої поверхні полозу сошника;

W – вологість ґрунту, %;

ρ_{ep} – щільність ґрунту, що взаємодіє з полозом сошника;

E_{ep} – модуль Юнга для матеріалу полозу;

b – ширина леза полозу;

k_{ep} – коефіцієнт, що характеризує фізико-механічні та технологічні властивості ґрунту в межах агротехнічних вимог на сівбу.

Експериментальні дані свідчать, що при взаємодії полозу з ґрунтом, можна виділити три характерні зони його зношування (рис. 2.1).

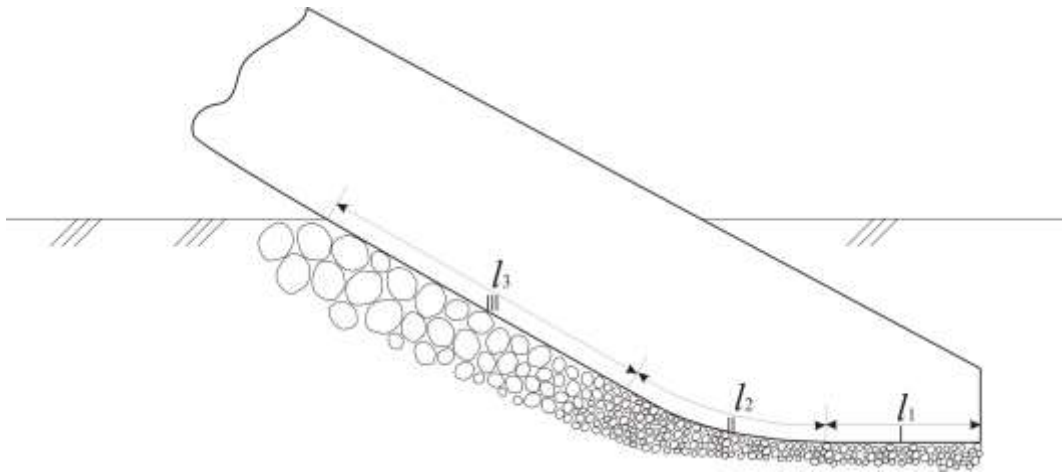


Рис. 2.1. Характерні зони зношування полозу ползкового сошника: (І зона – довжиною l_1 , II зона – довжиною l_2 , III зона – довжиною l_3)

Наведемо схему сил, які діють на першу зону полозу сошника на (рис. 2.2). Підставивши (2.2) в (2.1), маємо:

$$\frac{dU}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a p}{b E_m W \rho_{ep} k_{ep}}. \quad (2.3)$$

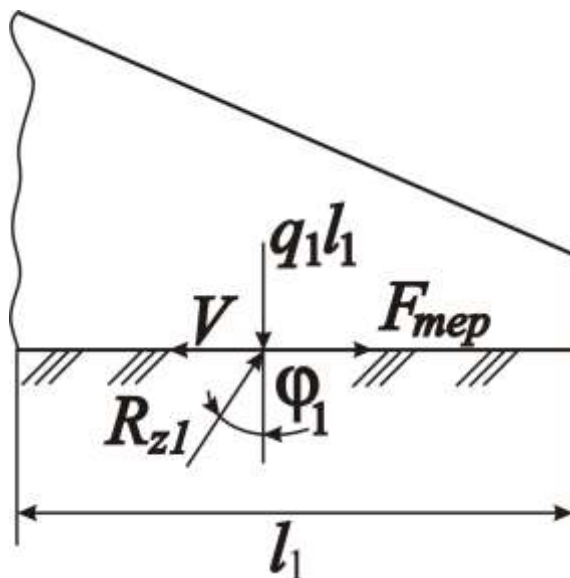


Рис. 2.2. Схема сил, що діють в точках першої зони полозу сошника

Врахувавши в рівнянні (2.3) комплекс сил, які діють на поверхню тертя, в першій зоні полозу і прийнявши, що розтягуючі сили – додатні, стискаючі – від’ємні, отримаємо:

$$\frac{dU_1}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b E_m W \rho_{ep} k_{ep}} \frac{1}{b l_1} (q_1 l_1 - R_{z1} \cos \varphi_1), \quad (2.4)$$

де q_1 – лінійне розподілення (питоме) навантаження I-ї зони полозу сошника від дії сили ваги;

l_1 – довжина I зони ($l_1 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$);

φ_1 – кут тертя ґрунту по металу;

R_{z1} – реакція на навантаження, що діє на сошник в зоні I.

Згідно II-го закону Ньютона для цієї зони маємо наступне рівняння:

$$R_{z1} \sin \varphi_1 + F_{тер1} = m \frac{v^2 b}{2S}, \quad (2.5)$$

де $F_{тер1}$ – сила тертя, що діє на поверхню полозу полозкового сошника I-ї зони,

$F_{тер1} = f R_{z1} \cos \varphi_1$, f – коефіцієнт тертя;

v – швидкість руху сошника.

Підставивши вирази деяких сил у рівняння (2.5), маємо:

$$R_{z1} \sin \varphi_1 + f R_{z1} \cos \varphi_1 = \frac{mv^2 b}{2S}. \quad (2.6)$$

З останнього рівняння знаходимо вираз для R_{z1} :

$$R_{z1} = \frac{mv^2 b / 2S}{(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)}. \quad (2.7)$$

Підставивши (2.7) в (2.4), маємо:

$$\frac{dU_1}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E_m W \rho_{zp} k_{zp} l_1} \left(q_1 \cdot l_1 - \frac{mv^2 b}{2S(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)} \right). \quad (2.8)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$U_1 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E_m W \rho_{zp} k_{zp} l_1} \left(q_1 \cdot l_1 - \frac{mv^2 b \ln S}{2S(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)} \right). \quad (2.9)$$

Розглянемо вплив силового навантаження (рис. 2.3) на процес зношування II зони полозу сошника.

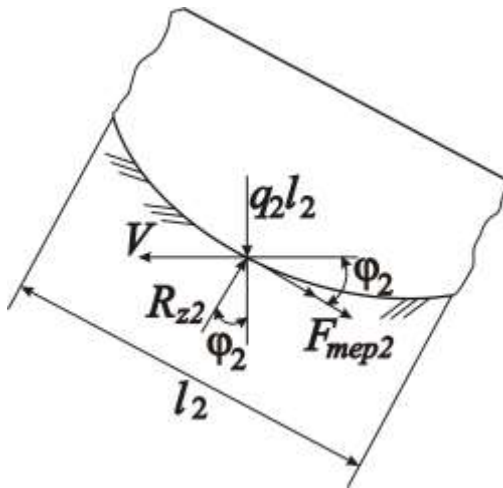


Рис. 2.3. Схема сил, що діють в точках II зони полозу сошника

Для точок цієї зони, враховуючи сили, які діють на неї, матимемо наступне рівняння:

$$\frac{dU_2}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{zp} k_{zp} l_2} (q_2 l_2 \cos \varphi_2 - R_{z2} \cos \varphi_2 - F_{mp2} \sin \varphi_2), \quad (2.10)$$

де R_{z2} – реакція від сили ваги, що діє на полóz в зоні II;

q_2 – питоме навантаження для II зони полóзкового сошника від дії сили ваги на 1 м його робочої довжини;

φ_2 – кут тертя ґрунту по металу;

l_2 – довжина II зони леза ($l_2 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$).

Для наведеної схеми сил II закон Ньютона матиме вигляд:

$$F_{\text{тер}2} \cos \varphi_2 + R_{z2} \sin \varphi_2 = m \frac{v^2 b}{2S}, \quad (2.11)$$

де $F_{\text{тер}2}$ – сила тертя, що діє на поверхню леза полозу сошника II зони,

$$F_{\text{тер}2} = f R_{z2}.$$

З останнього рівняння знаходимо вираз для R_{z2} , який підставляємо у рівняння (2.10):

$$\frac{dU_2}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{cp} k_{cp} l_2} \left(q_2 l_2 \cos \varphi_2 - \frac{m v^2 b \cos \varphi_2 (1 - f \sin \varphi_2)}{2S (f \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2)} \right). \quad (2.12)$$

Після інтегрування маємо:

$$U_2 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E W \rho_{cp} k_{cp} l_2} \left(q_2 l_2 \cos \varphi_2 - \frac{m v^2 b \cos \varphi_2 (1 - f \sin \varphi_2)}{f \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2} \cdot \frac{\ln S}{2S} \right). \quad (2.13)$$

Розглянемо сили, що діють на точки III зони (рис. 2.4).

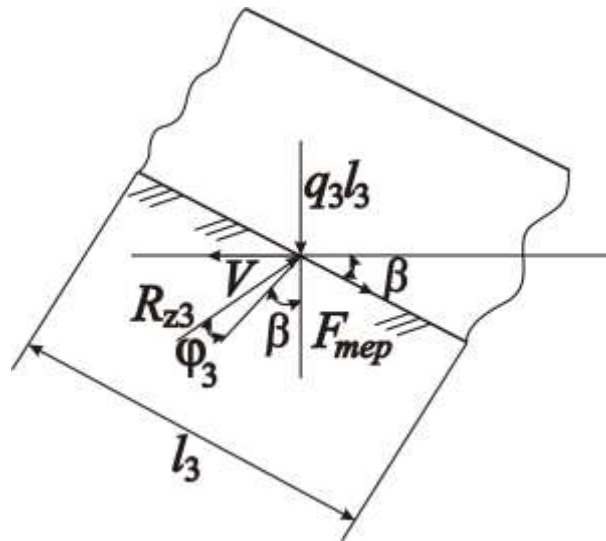


Рис. 2.4. Схема сил, що діють на точки III зони полозу сошника

Рівняння Хрущова-Бабічева для цієї зони леза полозу сошника матиме вигляд:

$$\frac{dU_3}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{cp} k_{cp} l_2} (q_3 l_3 \cos \beta - R_{z3} \cos(\beta + \varphi_3) - F_{\text{тер}3} \sin \beta), \quad (2.14)$$

де R_{z3} – реакція на навантаження, що діє на сошник в зоні III;

q_3 - питоме навантаження для зони III полозу сошника від дії сили ваги на 1 м його робочої довжини;

φ_3 - кут тертя ґрунту по металу;

β - кут нахилу леза полозу до горизонту;

l_3 - довжина III зони леза полозу ($l_3 = 7.5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$).

Схема сил (рис. 2.4) дає можливість скласти наступне рівняння динаміки:

$$R_{z3} \sin(\beta + \varphi_3) + F_{\text{тер}3} \cos \beta = m \frac{v^2 b}{2S} \quad (2.15)$$

Якщо з рівняння (2.15) знайти R_{z3} і підставити у рівняння (2.14), то отримаємо:

$$\frac{dU_3}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{ep} k_{ep} l_3} \left(q_3 l_3 \cos \beta - \frac{m v^2 b (\cos(\beta + \varphi_3) + f \sin \beta)}{2(\sin(\beta + \varphi_3) + f \cos \beta) S} \right). \quad (2.16)$$

Після інтегрування маємо:

$$U_3 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E W \rho_{ep} k_{ep} l_3} \left(q_3 l_3 \cos \beta - \frac{m v^2 b (\cos(\beta + \varphi_3) + f \sin \beta) \ln S}{2(\sin(\beta + \varphi_3) + f \cos \beta) S} \right). \quad (2.17)$$

Отримані формули (2.9), (2.13) та (2.17) для відповідних зон полозу сошника дають можливість побудувати залежність величини зносу від напрацювання попередньо прийнявши, що швидкість руху постійна і властивості матеріалу полозу та зношуючі властивості ґрунту, є постійними, а профіль леза полозу сошника є стабілізованим.

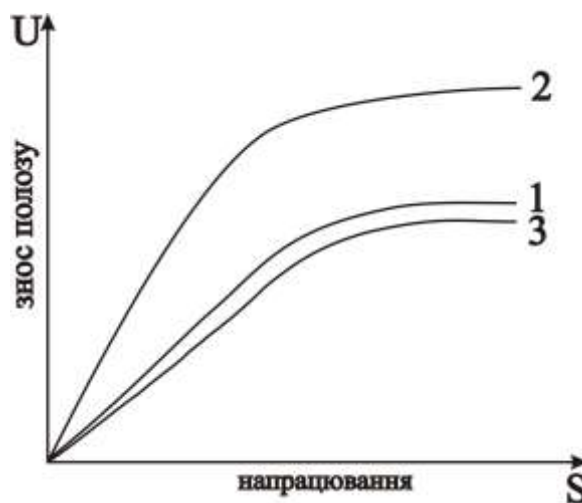


Рис. 2.5. Характерні залежності зносу полозу сошника від напрацювання при стабілізованому профілі леза: 1 – I- зона; 2 – II- зона; 3 – III- зона

Аналіз аналітичних залежностей зносу свідчить, що максимальну величину зношування має II зона, а мінімальну – III зона. Таку відмінність процесу зношування полозу сошника для трьох зон можна пояснити тим, що сила R_z змінює напрямок у кожній зоні під своїм кутом тертя ґрунту по металу у визначеній зоні.

При цьому епюри силового навантаження леза полозу ползкового сошника для трьох зон мають наступну типову форму (рис. 2.6).

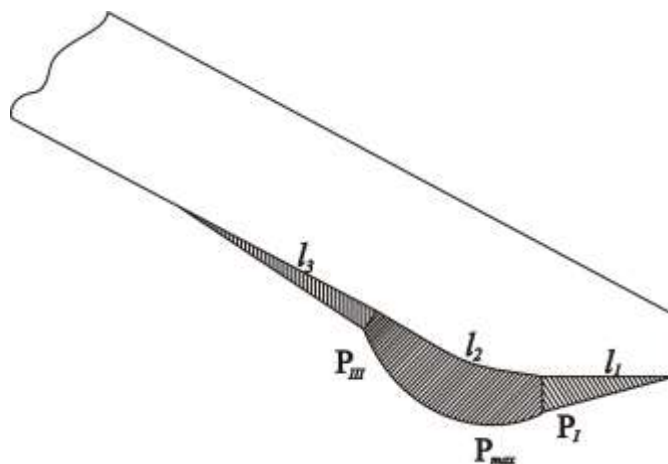


Рис. 2.6. Епюри силового навантаження полозу сошника

Отже сумарне силове навантаження у II зоні полозу змінюється в залежності від кута тертя ґрунту по металу та має максимальне значення.

Розрахункові формули (2.9), (2.13), (2.17) дають можливість оцінити епюру величини зносу відповідних зон полозу сошника (рис. 2.7).

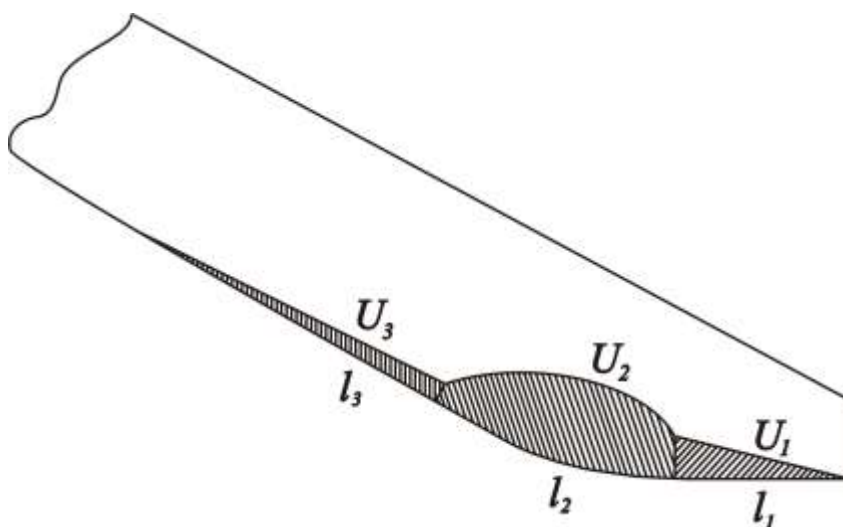


Рис. 2.7. Епюри величини зносу леза полозу сошника

Аналіз епюри зносу свідчить, що найменший знос леза полозу спостерігається в третій зоні, а II зона має найбільший знос. Це узгоджується з епюрою навантаження (рис. 2.6). Отже, при виготовленні полозу його конструкцію слід узгодити з локальним характером зношування, тобто слід використати диференціальний підхід до його зміцнення.

В даній роботі ця проблема розв'язується способом приварювання композиційної стрічки на робочу поверхню полозу сошника.

2.2. Динаміка зміни профілю леза полозу сошника

В роботі [27] показано, що монометалеві вертикально встановлені леза при випробовуваннях в ізотропній масі ґрунту набувають стабілізовану форму. При цьому процес зношування і зусилля різання мінімізується, тобто формозміною леза в процесі експлуатації можна керувати [5,88].

Розглянемо характерні профілі леза полозу сошника (рис. 2.8).

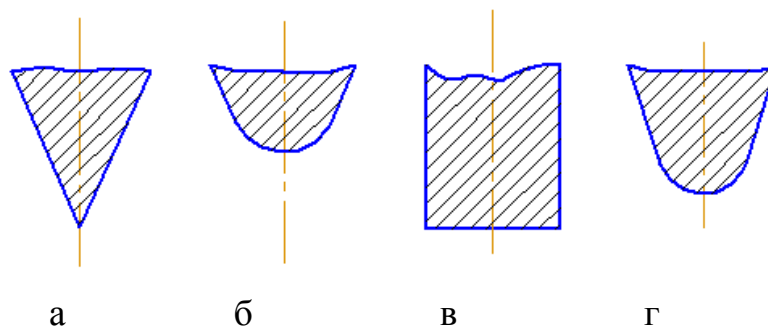
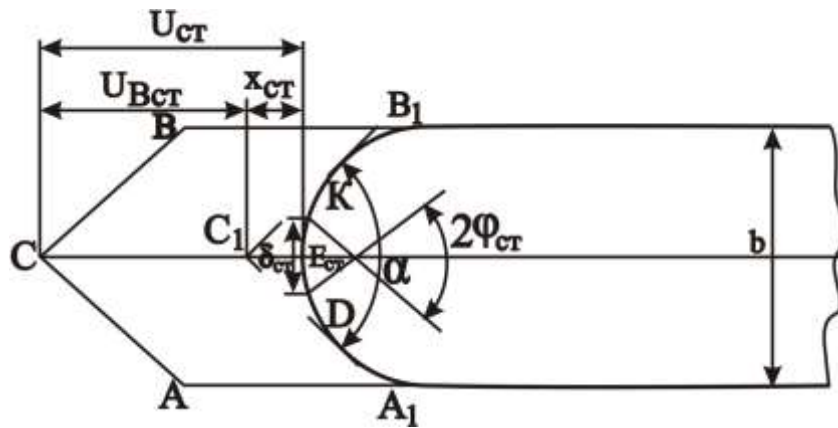


Рис. 2.8. Характерні профілі леза полозу сошника: а, б – серійного до і після експлуатації; в, г – експериментального до і після експлуатації

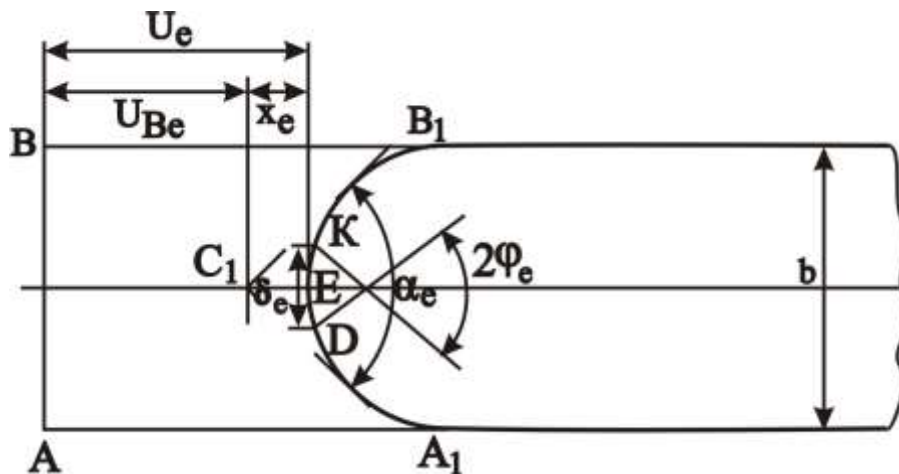
Якщо лезо загострене, то вихідний профіль трикутний (рис. 2.8, а) і в процесі експлуатації в ґрунті він приймає іншу стабілізовану форму (рис. 2.8, б). Якість розрізання ґрунту, рослинних решток, формування борозен при цьому дуже низька. Інтенсивне зношування, що спостерігається при цьому приводить до затуплення леза. Такий профіль леза обумовлює підвищення тягового опору полозу сошника. В такому випадку є необхідність в керуванні профілем леза полозу сошника: зміцнення його робочої частини з реалізацією ефекту самозагострювання.

В роботі в якості експериментальних досліджували незагострені леза (рис. 2.8, в). Спостереження показали, що їх зношування менш інтенсивне ніж загострених (рис. 2.8 а, б) незміцнених лез, але при певному напрацюванні вони теж затуплюються (рис. 2.8, г) і негативні наслідки при цьому аналогічні зазначеним.

Використаємо модельний підхід дослідження динаміки формування профілів лез полозів сошників у розглянутих випадках (рис. 2.9). При умові, якщо кромка леза перед експлуатацією загострена, то воно буде мати профіль АСВ (рис. 2.9, а), а незагострене – АВ (рис. 2.9, б). Але в процесі експлуатації кромка леза полозу сошника набуде профілю A_1DEKB_1 .



а)



б)

Рис. 2.9. Схема зміни профілю незміцнених стандартного загостреного (а) та експериментального незагостреного лез (б)

Нехай стандартне загострене і експериментальне незагострене леза працюють в одному і тому ґрунті, тобто ($\varphi_{cm} = \varphi_e$ – однаковий коефіцієнт тертя).

Проаналізуємо характер зношування профілів зазначених лез до набуття однакового кута загострення α ($\alpha_{cm} = \alpha_e$). При цьому використаємо довжину δ_{cm} хорди дуги ріжучої кромки з центральним кутом 2φ , прийнятої В.А. Желіговським в якості критерію загострення леза [41,114]:

$$\delta = 2x \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (2.18)$$

Для розглянутих лез критерій (3.18) має вигляд:

$$\delta_{cm} = 2x_{cm} \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi_{cm}}{1 - \sin \frac{\alpha_{cm}}{2}}; \quad \delta_e = 2x_e \frac{\sin \frac{\alpha_e}{2} \sin \varphi_e}{1 - \sin \frac{\alpha_e}{2}}. \quad (2.19)$$

Оскільки за припущенням $\alpha_{cm} = \alpha_e$ і $\varphi_{cm} = \varphi_e$, то при $\delta_{cm} = \delta_e$, $x_{cm} = x_e$.

Через те, що $x = U - U_B$, де U – величина зносу, U_B – зміщення вершини леза, то:

$$U_{cm} - U_{Bcm} = U_e - U_{Be}. \quad (2.20)$$

Експериментальні результати свідчать, що $U_{cm} > U_e$, то $U_{Bcm} > U_{\hat{A}\hat{A}}$, тобто при зношуванні лез зміщення вершини незагостреного леза здійснюється на меншу величину ніж для стандартних. Отже з результатів досліджень випливає, що леза сошників недоцільно загострювати.

Формування профілів лез полозів залежать від ударної міцності матеріалу σ_m , зносу U_e , U_{cm} , набутого в процесі експлуатації (або попередньо сформованого) кута загострення α , товщини b , тиску ґрунту p на лезо, n_1 – кількості ударів на площині кромки леза на одиницю шляху тертя, напрацювання S , енергії удару T , Н/м; коефіцієнта пропорційності k , $\text{мм}^2 / \text{Н}^2$:

$$\delta_{cm} = 2(U_{cm} - U_{Bcm}) \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi_{cm}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{2S}{b} \left(n_{1cm} \frac{T}{\sigma_m} - \frac{k_{1cm} P U_{cm}}{b} \right) \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi_{cm}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (2.21)$$

$$\delta_e = 2(U_e - U_{\hat{A}\hat{e}}) \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi_e}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{2S}{b} \left(n_{1e} \frac{T}{\sigma_i} - \frac{k_{1e} P U_e}{b} \right) \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi_e}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (2.22)$$

Таким чином, на характер формування профілю леза експериментального полозу сошника суттєвий вплив має зносостійкість матеріалу, з якого він

виготовлений, ударна міцність, напрацювання та величина і характер тиску ґрунту на його робочу поверхню.

2.3. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу

Працездатний стан робочих органів з ґрунторізальними елементами визначається значеннями всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції і що відповідають вимогам конструкторської документації. Це здатність до заглиблення, тяговий опір переміщенню в шарі ґрунту, ресурс, міцність, збереження гостроти леза в процесі експлуатації з реалізацією ефекту самозагострювання. Результати досліджень і аналіз спрацьованих полозів сошників показують, що основною причиною цих функцій є зміна профілю їх леза в процесі експлуатації.

Спостереження за змінами профілю леза з однорідного металу показують, що по мірі зношування він поступово стабілізується і залишається практично незмінним. Сформований профіль леза не залежить від його початкового вигляду, який був конструктивно наданий лезу при виготовленні ґрунторізальних елементів, від товщини леза (в допустимих межах) і від матеріалу полозу.

Виявлено, що при зміні кутів установки леза, фізико-механічних властивостей ґрунту, швидкості руху агрегату та інших умов форма стабілізованого профілю може суттєво змінюватися [15,137,138].

Зміна профілю леза полозу в процесі зношування обумовлена в основному величиною та характером зносу кожної з його фасок та об'ємом руйнування різальної кромки в процесі експлуатації в середовищі ґрунту.

Тиск ґрунту на лезо є динамічним і його можна розглядати як міру інтенсивності безперервних ударів його частинок. Число та енергія ударів частинок залежать від його гранулометричного складу ґрунту.

Створення самозагострюваного ґрунторізального профілю, як єдиного для всіх ґрунтових умов є досить складною проблемою [137,138].

Теоретичне обґрунтування умови реалізації ефекту самозагострювання леза полозу сошника, при його зміцненні контактним наварюванням композиційної стрічки, у випадку попередньо незагостреного леза проведемо в постановці плоскої задачі зміни форми зміцненого леза при його зношуванні в ізотропній масі абразивних частинок, усереднених за розміром (рис. 2.10).

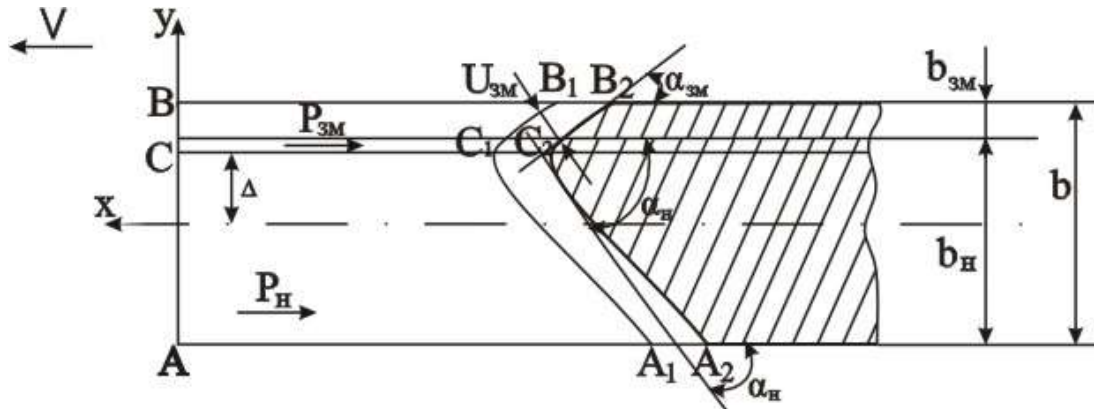


Рис. 2.10. Схема зміни профілю леза полозу сошника з нанесеним покриттям

Переміщення зміцненого леза відбувається по осі x . На початку випробування профілем леза є прямолінійна ділянка ACB, в період стабілізації під дією зусиль P_{3M} і P_H з боку ґрунту на зміцнений і несучий шари полозу – крива $A_1C_1B_1$, з вершиною в точці C_1 , а з напрацюванням – крива $A_2C_2B_2$ з вершиною C_2 . Після стабілізації профілю леза полозу ($A_1B_1C_1$) знос фасок відбувається конгруентно у відповідності до шарів леза. Кромка леза в фасках A_1C_1 і C_1B_1 буде мати різну швидкість зношування. В процесі реалізації ефекту самозагострювання, вершина леза зміщується від середини товщини на величину Δ . Оскільки зношування по ширині леза багато менше, ніж по довжині, прийняли, що загальна товщина полозу b зберігається ($b = const$).

Для усталеного процесу (рис. 2.10), згідно роботи [79], можна записати:

$$U_H^{-1} \cdot b = 2U_{3M}^{-1} \cdot k_H \left(\frac{b}{2} + \Delta \right), \quad (2.23)$$

де U_H^{-1} , U_{3M}^{-1} – зносостійкість несучого і зміцненого шарів;

Δ – зміщення кромки леза відносно середини його товщини у випадку нанесення зміцненого покриття;

$k_H = \frac{H_{3M}}{H_H}$ – відношення твердості зміцненого і несучого шарів леза.

Загальну зносостійкість зміцненого леза, зносостійкість несучого і композиційного шарів можна визначити по формулах [79]:

$$U_{3M}^{-1} = \frac{k_1 P}{b^2}; U_{3M}^{-1} = \frac{k_1 P_{3M}}{b_{3M}^2}; U_H^{-1} = \frac{k_1 P_H}{b_H^2}, \quad (2.24)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності.

Оскільки загальне навантаження на лезо дорівнює:

$$P_\Sigma = P_{3M} + P_H \quad (2.25)$$

де P_{3M} , P_H – зусилля, що діють на зміцнений та несучий шари.

З формул (2.24) визначені зусилля дорівнюють:

$$P_\Sigma = \frac{b^2 \cdot U_{3a2}^{-1}}{k_1}; P_{3M} = \frac{b_{3M}^2 \cdot U_{3M}^{-1}}{k_1}; P_H = \frac{b_H^2 U_H^{-1}}{k_1}. \quad (2.26)$$

Підставимо (2.26) в (2.25) і знайдемо загальну величину зносу зміцненого леза:

$$U_{3a2} = \frac{U_{3M} U_H b^2}{(U_H b_{3M}^2 + U_{3M} b_H^2)}. \quad (2.27)$$

Підставимо вираз (2.27) в рівняння (2.23) і після деяких перетворень одержимо:

$$b = 2k_H = \frac{(U_H b_{3M} + U_{3M} b_H^2)}{U_{3M} b^2} \cdot \left(\frac{b}{2} + \Delta \right). \quad (2.28)$$

У формулі (2.28) враховуємо коефіцієнт $k_U = \frac{U_{3M}}{U_H}$, який дорівнює відношенню величин зносів композиційного та несучого шарів. Після деяких перетворень, маємо:

$$b^3 = 2k_H (b_{3M}^2 + k_U b_H^2) \left(\frac{b}{2} + \Delta \right). \quad (2.29)$$

Звідки величина зміщення вершини кромки леза відносно його середини дорівнює:

$$\Delta = \frac{b^3}{2k_H (b_{3M}^2 + k_U b_H^2)} - \frac{b}{2}. \quad (2.30)$$

Виходячи з умов реалізації самозагострювання [79], можна записати:

$$0 \leq \Delta \leq b/2 \text{ і } \frac{b^3}{2k_n(b_{3M}^2 + k_U b_n^2)} > \frac{b}{2}. \quad (2.31)$$

Після деяких спрощень маємо наступну умову:

$$\frac{b^2}{k_n(b_{3M}^2 + k_U b_n^2)} > 1. \quad (2.32)$$

Оскільки $b = b_{3M} + b_n$, то враховуючи відношення товщин зміцненого та несучого шарів леза, $k_b = \frac{b_{3M}}{b_n}$, отримаємо:

$$\frac{k_b^2 + 2k_b + 1}{k_n(k_b^2 + k_U)} > 1. \quad (2.33)$$

Остання умова поєднує весь комплекс вимог реалізації ефекту самозагострювання леза полозу сошника [79]: відношення твердості k_n зміцненого і несучого шарів, швидкості їх зношування k_U та товщин цих шарів - k_b . Задаючи відношення зазначених характеристик зміцненого і несучого шарів, не порушуючи умову (2.33), можна спроектувати таку конструкцію ґрунторізальних елементів, яка в процесі експлуатації дасть можливість самозагострюватися.

Сукупність значень співвідношень k_n , k_U , k_b впливає і на величину зміщення Δ кромки леза: зі збільшенням k_U та k_n вона збільшується, а зі збільшенням k_b - відповідно зменшується.

2.4. Проектування складу композиційного кераміко-металевого зносостійкого покриття

Аналіз процесів зношування ґрунторізальних елементів показав, що ефект самозагострювання спостерігається у випадку формування на робочій поверхні композиційного кераміко-металевого зносостійкого покриття.

Властивості таких покриттів залежать від якісного та кількісного співвідношення керамічної та металевої складових. Якщо їх об'ємний вміст можна прогнозувати і реалізувати відповідними технологічними способами, то

необхідну міцність зв'язків на границях фаз і покриття з основою деталі можна забезпечити тільки керуючи параметрами процесів формування покриття.

Вибір керамічних та металевих фаз для створення композиційних матеріалів досить обмежений, оскільки властивості композиційного покриття не є сукупністю властивостей їх складових. Тому, на основі експериментальних досліджень, сучасної теорії тертя і зношування, теоретичних розрахунків і аналізу факторів, що визначають зносостійкість композиційного покриття в умовах абразивного зношування, можна сформулювати основні структурні, міцнісні та триботехнічні принципи їх проектування [153,155]:

1. Структура композиційного покриття повинна бути гетерогенною і складатися з твердих зерен, близьких за розмірами до розмірів абразиву, рівномірно розподілених в пружно-пластичній матриці. Адгезійний зв'язок між ними повинен бути міцним. Оптимальне співвідношення між твердостями матриці і керамічного наповнювача, тобто критерій твердості – $0,2 \dots 0,6$. Співвідношення твердості наповнювача і абразиву не повинно бути меншим $1,0 \dots 1,2$.

2. Структура композиційного покриття повинна бути безпористою або малопористою.

3. Структура композиційного покриття не повинна суттєво змінюватись в процесі тертя чи перебудовуватись в структуру, вигідну з точки зору тертя і зношування.

4. Під впливом зовнішнього середовища в композиційного покриття не повинні протікати структурні зміни, погіршення характеристик міцності і пластичності.

Згідно сучасних поглядів на зносостійкий матеріал [8,31,36,62,71,113,147], він повинен складатися з пластичної матриці, що виконує функцію зв'язуючого компоненту як між армуючими компонентами, так і між композиційного покриття та основним матеріалом деталі та демпфера для передачі навантаження і армуючого матеріалу— твердого тугоплавкого наповнювача, що сприймає питомі контактні навантаження.

Для забезпечення абразивної зносостійкості покриття [147] твердість матриці повинна знаходитись в межах 4,0...6,0 ГПа, а різниця в мікротвердостях армуючих і зв'язуючих фаз повинна дорівнювати приблизно 5,0 ГПа. Для дотримання даних умов необхідно забезпечити аустенітно-мартенситну структуру матриці [13,147]. Основним матеріалом матриці призначено залізо (залізний порошок ПЖ-Б5), яке володіє високими фізико-механічними та технологічними властивостями. Крім того, наявність в порошку близько 0,25% вуглецю сприяє утворенню під час контактного наварювання загартованих структур, що забезпечує підвищення її твердості та зносостійкості.

В якості зносостійких наповнювачів можна використати тверді матеріали: алмаз, оксиди, карбіди, нітриди, бори́ди і деякі інші сполуки [2]. З міркувань функціональної придатності для наших умов можна використати будь-який з названих матеріалів. Але з умови можливості формування композиційного покриття на їх основі та економічної доцільності найбільш ефективно використовувати карбіди. Для створення зносостійких матеріалів та покриттів на їх основі найчастіше застосовують карбіди хрому (Cr_3C_2) та титану (TiC), які характеризуються достатньо високою електропровідністю, твердістю, досить добре змочуються металами групи заліза, не дефіцитні та відносно дешеві.

В зв'язку з тим, що процес створення композиційних стрічок та покриттів на їх основі досить складний процес термомеханічної взаємодії вихідних компонентів, то для сприяння формування міцних механічних та хімічних зв'язків, достатньої електропровідності суміші та пластичності стрічок доцільно ввести до їх складу нікель (Ni).

З цією метою використовують плаковані порошки з ультратонким шаром нікелю. Ультратонкі шари відносять до неврівноважених структур, підвищена активність яких при спіканні чи термомеханічній обробці під час наварювання пов'язана з великим запасом надлишкової поверхневої енергії, обумовленої значним розвитком поверхні і високою щільністю дефектів

кристалічної решітки. Релаксаційні процеси на дефектах решітки служать додатковим джерелом енергії і сприяють підвищенню дифузійної активності нікелю. Ультратонкий шар нікелю (~1мкм) на поверхні частинок, наносять гідрометалургійним методом.

Таким чином, у даному випадку металева матриця являє собою потрібний сплав, що містить: залізо (ПЖ-Б5), хром, нікель. Для визначення оптимального вмісту досліджуваних компонентів матриці композиційного матеріалу скористаємося видозміненою діаграмою Маурера [144] (рис. 2.11). Для забезпечення аустенітно-мартенситної структури матричний сплав повинен містити 18...22% Cr, 8...11% Ni, інше – залізо (залізний порошок (ПЖ-Б5). Зносостійкість порошкових матеріалів характеризується не тільки складом та твердістю металевої матриці, а й у значній мірі об'ємним вмістом керамічного наповнювача, оскільки при недостатній його кількості інтенсивному зношуванню буде піддаватися матриця аж до втрати її суцільності і, як результат, до викришування наповнювача, і навпаки, при надлишковому вмісту наповнювача також матиме місце порушення суцільності матриці через підвищену пористість, що також може викликати його викришування при контакті з частинками ґрунту.

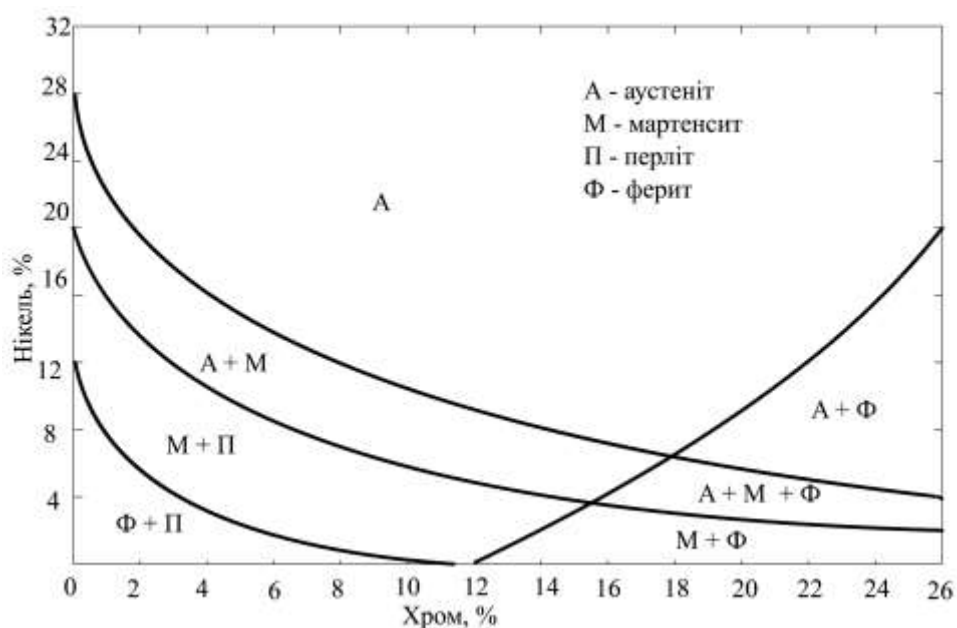


Рис. 2.11. Вплив хрому і нікелю на положення структурних складових в системі залізо-хром-нікель [144]

Таким чином, об'єм зносостійкої фази повинен бути таким, щоб у композиційному покритті відстань між її частинками не перевищувала б середнього

діаметру часток абразивної суміші в середовищі якої працює композиційне покриття, що запобігало б “заклинюванню” абразиву між керамічними частинками, активному зношуванню матричного матеріалу (рис. 2.12).

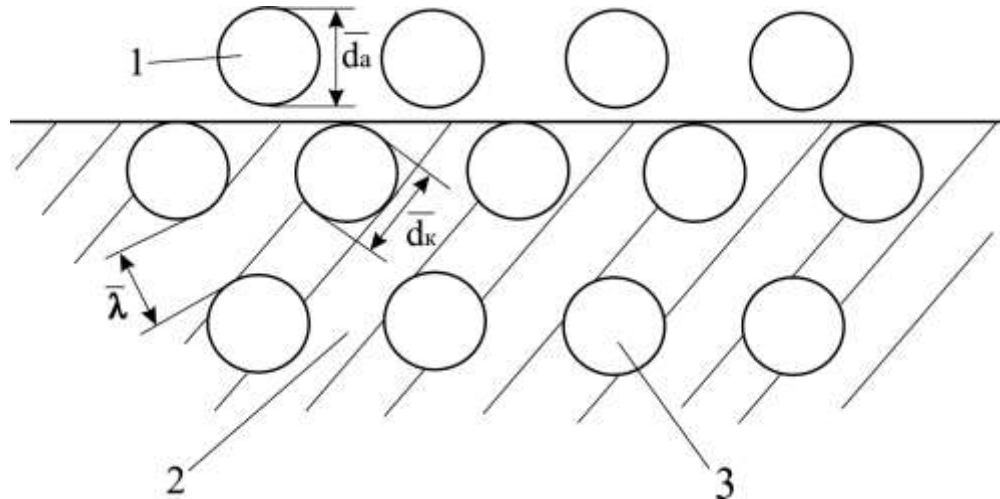


Рис. 2.12. Схема до розрахунку об'ємного вмісту керамічного наповнювача: 1 – абразивна частинка ґрунту; 2 – матриця; 3 – керамічний наповнювач

Для розрахунку об'ємного вмісту керамічного наповнювача в стрічці скористаємося виразом [13]:

$$\bar{\lambda} \leq \frac{2\bar{d}_k(1-c_k)}{3c_k}, \quad (2.34)$$

де $\bar{\lambda}$ - середній вільний шлях між керамічними частинками, мкм;

\bar{d}_k - середній діаметр керамічних частинок, мкм;

c_k - об'ємний вміст керамічних часток.

Припустимо, що відстань між керамічними частинками $\bar{\lambda}$ дорівнює чи менша діаметру абразиву, тоді, з урахуванням діаметру керамічного наповнювача \bar{d}_k , маємо:

$$c_k \geq \frac{1}{\frac{3\bar{d}_a}{2\bar{d}_k} + 1}. \quad (2.35)$$

Використавши вираз (2.35) можна розрахувати вміст керамічного наповнювача в композиційному покритті для конкретних умов експлуатації ґрунторізальних елементів.

Необхідні фізико-механічні властивості кераміко-металевої стрічки та композиційного покриття сформованого на її основі забезпечуються правильним вибором розміру керамічного наповнювача [54,78,143]. Обґрунтувати вибір максимального розміру керамічних включень можна в залежності від контактних навантажень та умови найкращого протікання процесу контактного наварювання.

Важливим фактором, що забезпечує працездатність композиційних покриттів, нанесених на ґрунторізальні елементи, є термомеханічна сумісність фаз. Відомо, що на термомеханічну сумісність фаз суттєво впливають коефіцієнти термічного розширення складових композиційного покриття та розмір керамічного наповнювача.

Оскільки процес формування композиційного покриття відбувається в два етапи (формування композиційної стрічки та безпосереднє наварювання її на поверхню деталі) то термічну взаємодію фаз розглянемо сумісно в процесі термомеханічної дії як при виготовленні стрічки (прокочування порошкової суміші між вальцями з подальшим її спіканням в печі з інертним середовищем), так і при контактному наварюванні. Необхідно також врахувати різну швидкість охолодження композиційної стрічки і сформованого на її основі композиційного покриття: при спіканні охолодження протікає повільно, під час наварювання швидко.

Термомеханічну сумісність фаз можна забезпечити за умови близькості значень коефіцієнтів термічного розширення складових композиційного покриття при відповідних розмірах керамічного наповнювача [78].

При охолодженні як металева, так і керамічна фази композиційного матеріалу зменшуються пропорційно значенню коефіцієнта термічного розширення:

$$\Delta V_m = 3\alpha_m \cdot \Delta T \cdot V_m ; \quad (2.36)$$

$$\Delta V_{\kappa} = 3\alpha_{\kappa} \cdot \Delta T \cdot V_{\kappa}, \quad (2.37)$$

де V_M , V_{κ} , ΔV_M , ΔV_{κ} - відповідно об'єми та зміни об'єму матриці та керамічного наповнювача при охолодженні;

α_M , α_{κ} - коефіцієнт термічного розширення матриці і керамічного наповнювача;

ΔT - різниця температур нагрівання і охолодження.

Оскільки металева матриця композиційного покриття являє собою сплав трьох компонентів (Fe, Cr, Ni), то для визначення коефіцієнта її термічного розширення скористаємось правилом адитивності:

$$\alpha_M = c_{Fe} \cdot \alpha_{Fe} + c_{Ni} \cdot \alpha_{Ni} + c_{Cr} \cdot \alpha_{Cr}, \quad (2.38)$$

де α_{Fe} , α_{Ni} , α_{Cr} - коефіцієнт термічного розширення, відповідно, заліза, нікелю, хрому;

c_{Fe} , c_{Ni} , c_{Cr} - відповідно об'ємний вміст матриці, заліза, нікелю, хрому.

Якщо підставити вихідні дані (табл. 3) у вираз (2.38), то отримаємо розрахункове значення коефіцієнт термічного розширення матриці:

$$\alpha_M = 12,8 \cdot 10^{-6} K^{-1}.$$

Відмінність в коефіцієнтах термічного розширення матриці і наповнювача при охолодженні під час стиску матриці викликає деформацію яка в керамічному наповнювачі обумовлює виникнення нормальних напружень.

$$\varepsilon = \Delta V_M - \Delta V_{\kappa} = 3(\alpha_M - \alpha_{\kappa})\Delta T, \quad (2.39)$$

При швидкому охолодженні величину нормальних напружень можна оцінити за виразом [78]:

$$\sigma_{\kappa} = 3E_{\kappa}(\alpha_M - \alpha_{\kappa})\Delta T, \quad (2.40)$$

де E_{κ} - модуль пружності керамічного наповнювача.

У випадку повільного охолодження внаслідок перерозподілу напружень [78], нормальні напруження будуть значно меншими:

$$\sigma = \sigma_{\kappa} \exp\left(-\frac{G_{3c} \cdot t}{\eta}\right), \quad (2.41)$$

де G_{3c} - модуль зсуву;

t - тривалість охолодження;

η - коефіцієнт зсувної в'язкості.

Врахувавши двоетапність формування композиційного покриття та вираз (2.40) в (2.41), маємо:

$$\sigma_{\kappa} = 3E_{\kappa}(\alpha_{\mathcal{M}} - \alpha_{\kappa}) \exp\left(-\frac{G_{3c} \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (2.42)$$

Крім нормальних напружень на керамічну частинку діють також і тангенціальні напруження τ . При цьому умову руйнування керамічної частинки з урахуванням зазначених видів напружень можна подати у вигляді:

$$\sigma_{\kappa} \cdot F_S \leq \tau \cdot S, \quad (2.43)$$

де F_S , S – площа поперечного перерізу та поверхні частинки.

Підставивши вираз (2.42) в умови (2.43), і розв'язавши відносно τ , отримаємо:

$$\tau \geq 3 \frac{F_S}{S} E_{\kappa} (\alpha_{\mathcal{M}} - \alpha_{\kappa}) \exp\left(-\frac{G_{3c} \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (2.44)$$

Це стосується процесу повільного охолодження.

У випадку швидкого охолодження, маємо:

$$\tau \geq 3 \frac{F_S}{S} E_{\kappa} (\alpha_{\mathcal{M}} - \alpha_{\kappa}) \Delta T. \quad (2.45)$$

Виходячи з (2.45) умову руйнування керамічної частинки можна подати у вигляді:

$$(\alpha_{\mathcal{M}} - \alpha_{\kappa}) \geq \frac{\tau}{3 \frac{S}{F_S} E_H \Delta T}. \quad (2.46)$$

Припустимо, що компоненти матриці і керамічного наповнювача мають сферичну форму однакового діаметру d , тоді їх об'єми можна визначити за формулою:

$$\Delta V_{\mathcal{M}} = \Delta V_{\kappa} = \frac{1}{6} \pi d^3. \quad (2.47)$$

Зміна об'ємів фаз композиційного покриття, з урахуванням (2.36), (2.37) та (2.47), відповідно дорівнює:

$$\Delta V_{\mathcal{M}} = \frac{1}{6} \pi d^3 \alpha_{\mathcal{M}} \Delta T; \quad (2.48)$$

$$\Delta V_{\kappa} = \frac{1}{6} \pi d^3 \alpha_{\kappa} \Delta T. \quad (2.49)$$

З урахуванням змін об'ємів (2.48) і (2.49), маємо загальну зміну об'єму:

$$\Delta V = \frac{1}{6} \pi d^3 (\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa}) \Delta T. \quad (2.50)$$

В зв'язку з цим вираз набуде вигляду:

$$\varepsilon = \frac{1}{6} \pi d^3 (\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa}) \Delta T. \quad (2.51)$$

З урахуванням вищевикладеного, вираз (2.40) для нормальних напружень дещо перетвориться:

$$\sigma = \frac{1}{6} \pi d^3 E_{\kappa} (\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa}) \Delta T. \quad (2.52)$$

Для тангенціальних напружень з урахуванням релаксаційних процесів:

$$\tau = \frac{1}{6} \pi d^3 E_{\kappa} (\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa}) \exp\left(-\frac{G \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (2.53)$$

Очевидно, що аналогічно умові (2.46), щоб при швидкому охолодженні не спостерігалось руйнування керамічної частинки, маємо:

$$\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa} \leq \frac{6\tau_{\kappa}}{\pi d^3 E_{\kappa} \Delta T}. \quad (2.54)$$

Отже, можна бачити, що чим менший розмір частинки керамічного наповнювача, тим менша імовірність його руйнування і тим більшою може бути різниця коефіцієнтів термічного розширення складових матриці і керамічного наповнювача.

Розв'язавши вираз (2.54) відносно d отримаємо діаметр керамічної частинки:

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{6\tau_{\kappa}(\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa})}{\pi E_{\kappa} \Delta T}}. \quad (2.55)$$

Тобто $d \leq d_{\text{max}}$,

$$d_{\text{max}} = \left(\frac{6\tau_{\kappa}(\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa})}{\pi E_{\kappa} \Delta T} \right)^{1/3}. \quad (2.56)$$

Виконані за виразом (2.55) обчислення вказують на те, що діаметр керамічного наповнювача Cr_3C_2 та TiC відповідно буде: $d_{Cr_3C_2} \leq 0,450 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $d_{TiC} \leq 0,518 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

2.5. Тяговий опір сошника

Розрахунок тягового опору полозкового сошника можна провести, використовуючи рівняння руху частинок ґрунту по його робочій поверхні та теорію клину В.П. Горячкіна і його послідовників [34].

Згідно цієї теорії в процесі руху сошника в середовищі ґрунту на нього діють нормальний тиск ґрунту N , сила тертя $F_{тер}$ (рис. 2.13).

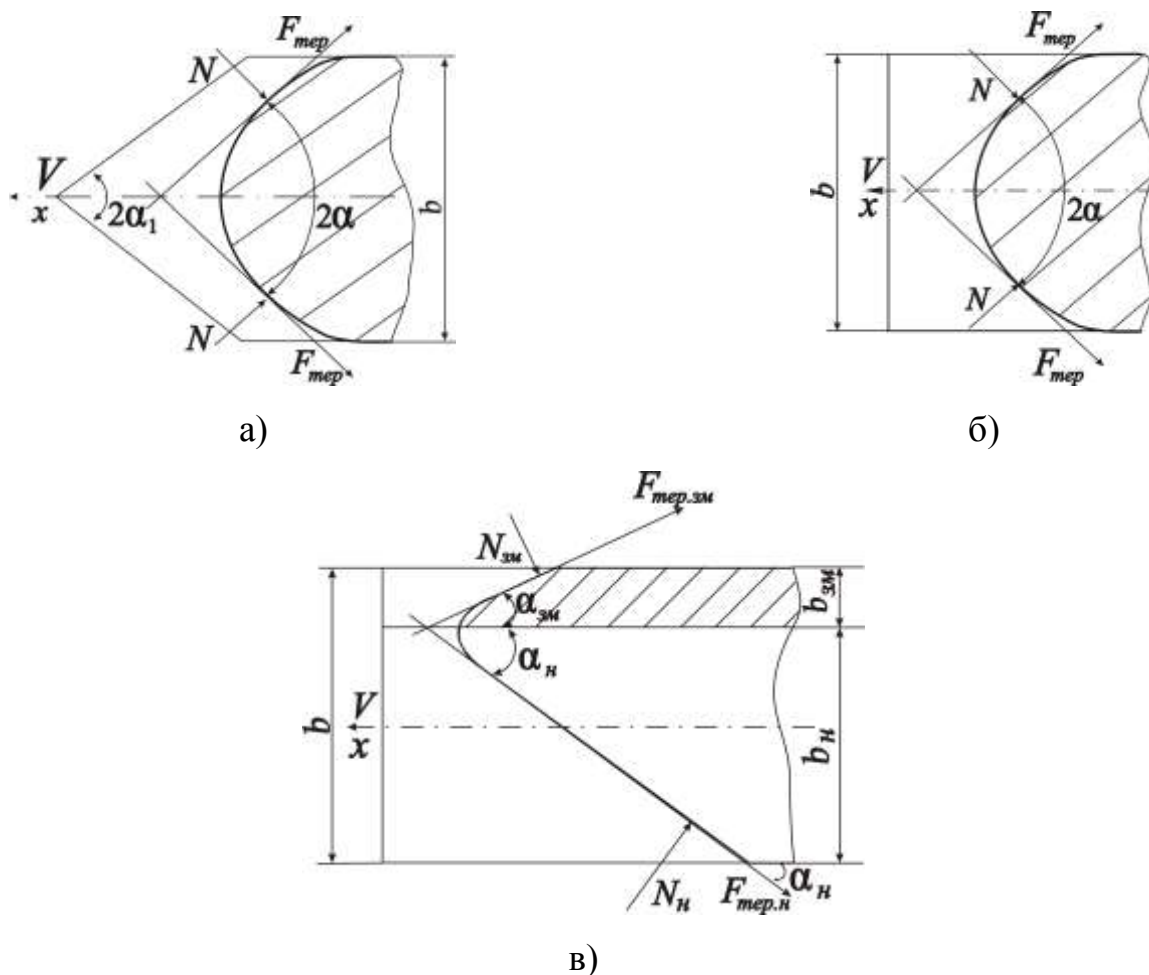


Рис. 2.13. Схеми сил та профілів леза для визначення тягового опору полозкового сошника: а) лезо незміцнене і незагострене; б) лезо стандартне загострене; в) лезо зміцнене і незагострене

Використовуючи рис. 2.13 і враховуючи те, що сила тертя дорівнює $F_{тер} = Ntg\varphi$, відповідні сили тягового опору полозкового сошника дорівнюють:

- незміцнене і незагострене лезо (рис. 2.13 а):

$$\begin{aligned} R_x &= 2N(1 - \sin \alpha) + 2Ntg\varphi_n(1 - \cos \alpha) = \\ &= 2N[(1 - \sin \alpha) + tg\varphi_n(1 - \cos \alpha)]; \end{aligned} \quad (2.57)$$

- незміцнене і загострене лезо (рис. 2.13 б):

$$\begin{aligned} R_x &= 2N(\sin \alpha - \sin \alpha_1) + 2Ntg\varphi_n(\cos \alpha - \cos \alpha_1) = \\ &= 2N[(\sin \alpha - \sin \alpha_1) + tg\varphi_n(\cos \alpha - \cos \alpha_1)]; \end{aligned} \quad (2.58)$$

- зміцнене і незагострене лезо (рис. 2.13 в):

$$\begin{aligned} R_x &= N_{зм}[(1 - \sin \alpha_{зм}) + tg\varphi_{зм}(1 - \cos \alpha_{зм})] + \\ &+ N_n[(1 - \sin \alpha_n) + tg\varphi_n(1 - \cos \alpha_n)], \end{aligned} \quad (2.59)$$

де $\alpha_{зм}$, α_n - кути загортання зміцненої і несучої частин полозу сошника;

α_1 - кут попереднього загострення леза;

$\varphi_{зм}$, φ_n - кут тертя ґрунту по зміцненій і незміцненій поверхні.

У формулах (2.57) – (2.59) сили нормального тиску ґрунту на робочі поверхні полозкового сошника мають дві складові:

$$N = N_{ст} + N_{дин}, \quad (2.60)$$

де $N_{ст}$ – статична складова, яка являє собою опір стиску ґрунту в горизонтальному напрямку;

$N_{дин}$ – динамічна складова – сила інерції при переміщенні полозкового сошника в ґрунті.

Наведемо основні конструктивні характеристики полозкового сошника та зазначені сили, що діють в локальних областях його леза (рис. 2.14).

Статична складова сили нормального тиску на бічну поверхню полозкового сошника, визначається за формулою [34]:

$$N_{ст} = \bar{q}S_{\sigma}, \quad (2.61)$$

де \bar{q} – середній питомий тиск ґрунту на бічну поверхню S_{σ} полозу сошника;

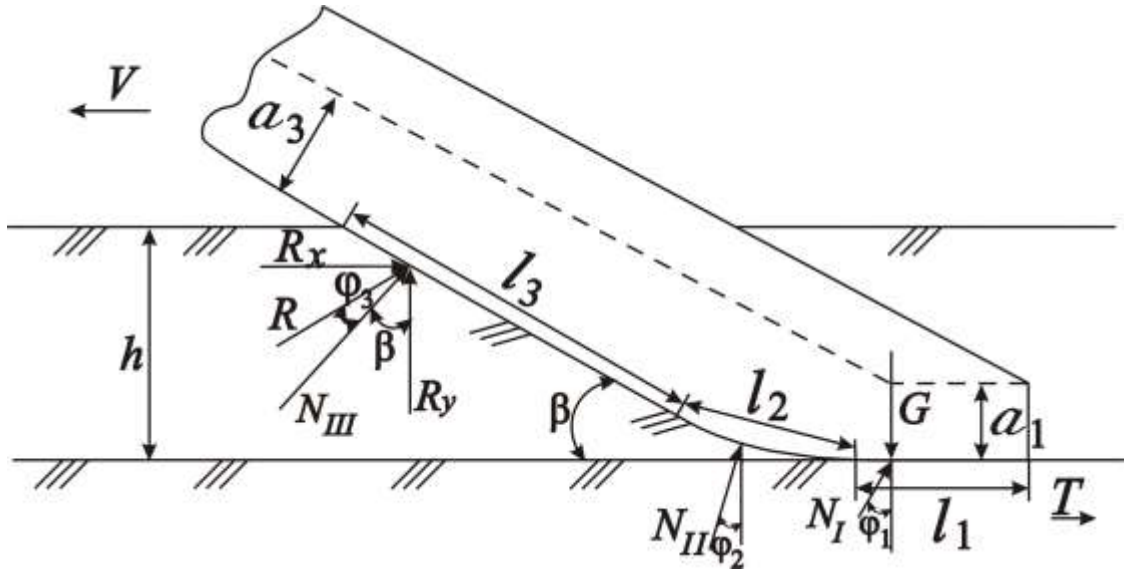


Рис. 2.14. Схема полозу сошника із зазначеними основними конструктивними та силовими характеристиками: N_I , N_{II} , N_{III} – статичні складові сили нормального тиску відповідних зон полозу; G – вага сошника; R_x , R_y – складові сили тягового опору

$$\bar{q} = \frac{1}{2} \gamma_{ep} g h, \quad (2.62)$$

де γ_{ep} – щільність ґрунту;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

h – глибина руху полозу сошника.

Використовуючи дані рис. 2.14, отримуємо:

$$S_o = 2 \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{h a_3}{\sin \beta} - u_3^* l_3 - u_2^* l_2 \right], \quad (2.63)$$

де a_1 – ширина робочої частини зони довжиною l_1 ;

a_3 – ширина робочої частини зон довжиною l_2 і l_3 ;

u_1^* , u_2^* , u_3^* – відповідні величини усталеного зносу робочих частин полозу.

Підставляючи (2.62) і (2.63) в формулу (2.61), отримуємо:

$$N_c = \gamma_{ep} g h \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{l_1 a_3}{\sin \beta} - u_3^* l_3 - u_2^* l_2 \right]. \quad (2.64)$$

Динамічна складова сили нормального тиску, що діє на лезо дорівнює [34]:

$$N_{дин} = \frac{dm}{dt} v_N, \quad (2.65)$$

де $\frac{dm}{dt}$ – маса ґрунту, що переміщується полозом сошника в одиницю часу.

$$\frac{dm}{dt} = \frac{S_{\text{рихл}}}{2} v \gamma_{\text{зр}}, \quad (2.66)$$

де $S_{\text{рихл}} = b \cdot h$ – площа рихлення ґрунту в перерізі в перпендикулярному напрямку руху;

b – товщина полозу;

v – швидкість руху агрегату;

$v_N = v \sin \alpha$, виходячи з рис. 2.13 та 2.14.

Враховавши (2.66) в (2.65), маємо:

$$N_{\text{дин}} = \frac{bh}{2} v \gamma_{\text{зр}} \sin \alpha. \quad (2.67)$$

Аналіз формул (2.64) та (2.67) свідчить, що формула (2.64) для незагостреного незміцненого і зміцненого, а також для загостреного стандартного полозів сошників буде однаковою, а формула (2.67) буде мати різний вигляд:

- для незагостреного і незміцненого полозу сошника:

$$N_{\text{дин}} = \frac{bh}{2} v^2 \gamma_{\text{зр}} (1 - \sin \alpha); \quad (2.68)$$

- для загостреного стандартного полозу сошника:

$$N_{\text{дин}} = \frac{bh}{2} v^2 \gamma_{\text{зр}} (\sin \alpha - \sin \alpha_1); \quad (2.69)$$

- для незагостреного зміцненого полозу сошника:

$$\begin{aligned} N_{\text{дин}} &= \frac{b_{\text{зм}}}{2} h v^2 \gamma_{\text{зр}} (1 - \sin \alpha_{\text{зм}}) + \frac{b_{\text{н}}}{2} h v^2 \gamma_{\text{зр}} (1 - \sin \alpha_{\text{н}}) = \\ &= \frac{h}{2} v^2 \gamma_{\text{зр}} [b_{\text{зм}} (1 - \sin \alpha_{\text{зм}}) + b_{\text{н}} (1 - \sin \alpha_{\text{н}})], \end{aligned} \quad (2.70)$$

Підставляючи в формулу (2.60) формули (2.64), (2.68) - (2.70), для визначення статичної і динамічної складових, отримуємо:

- для незагостреного і незміцненого полозу сошника:

$$N = \gamma_{\text{зр}} g h \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{h a_3}{\sin \beta} - \frac{u_{3\text{max}}^* l_3 - u_{2\text{max}}^* l_2}{2} \right] + \frac{bh}{2} v^2 \gamma_{\text{зр}} (1 - \sin \alpha); \quad (2.71)$$

- для загостреного стандартного полозу сошника:

$$N = \gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{ha_3}{\sin \beta} - \frac{u_3^* l_3}{2} - \frac{u_2^* l_2}{2} \right] + \frac{bh}{2} v^2 \gamma_{ep} (1 - \sin \alpha_1); \quad (2.72)$$

- для зміцненого незагостреного полозу сошника:

$$N = \gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_{13M}^*) l_1 + \frac{ha_{33M}}{\sin \beta} - \frac{u_{33M}^* l_3}{2} - \frac{u_{23M}^* l_2}{2} \right] + \frac{h}{2} v^2 \gamma_{ep} b_{3M} (1 - \sin \alpha_{3M}); \quad (2.73)$$

$$N_n = \gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_{1n}^*) l_1 + \frac{h(a_3 - b_{3M})}{\sin \beta} - \frac{u_{3n}^* l_3}{2} - \frac{u_{2n}^* l_2}{2} \right] + \frac{h}{2} v^2 \gamma_{ep} b_n (1 - \sin \alpha_n). \quad (2.74)$$

Враховуючи формули (2.69) – (2.74) у формулах (2.57) – (2.60), отримуємо відповідні вирази для визначення сил тягового опору:

- незагострений незміцнений полоз сошника:

$$R_x = \left\{ 2\gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{ha_3}{\sin \beta} - \frac{u_3^* l_3}{2} - \frac{u_2^* l_2}{2} \right] - bhv^2 \gamma_{ep} (1 - \sin \alpha) \right\} \times \\ \times [(1 - \sin \alpha) + tg \varphi_n (1 - \cos \alpha)], \quad (2.75)$$

якщо прийняти, що $\sin \alpha = k_n S$, де k_n – коефіцієнт пропорційності; S – напрацювання, то маємо:

$$R_x = \left\{ 2\gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{ha_3}{\sin \beta} - \frac{u_3^* l_3}{2} - \frac{u_2^* l_2}{2} \right] - bhv^2 \gamma_{ep} (1 - k_n S) \right\} \times \\ \times [(1 - k_n S) + tg \varphi_n (1 - \sqrt{1 - k_n^2 S^2})]; \quad (2.76)$$

- загострений стандартний полоз сошника:

$$R_x = \left\{ 2\gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{ha_3}{\sin \beta} - \frac{u_3^* l_3}{2} - \frac{u_2^* l_2}{2} \right] - bhv^2 \gamma_{ep} (\sin \alpha - \sin \alpha_1) \right\} \times \\ \times [(\sin \alpha - \sin \alpha_1) + 2tg \varphi_n (\cos \alpha - \cos \alpha_1)]; \quad (2.77)$$

якщо прийняти, що $\sin \alpha = k_n S$, то маємо:

$$R_x = \left\{ 2\gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_1^*) l_1 + \frac{ha_3}{\sin \beta} - \frac{u_3^* l_3}{2} - \frac{u_2^* l_2}{2} \right] - bhv^2 \gamma_{ep} (k_n S - \sin \alpha_1) \right\} \times \\ \times [(k_n S - \sin \alpha_1) + 2tg \varphi_n (\sqrt{1 - k_n^2 S^2} - \cos \alpha_1)]; \quad (2.78)$$

- незагострений зміцнений полоз сошника:

$$R_x = \left\{ \gamma_{ep} gh \left[(a_1 - u_{13M}^*) l_1 + \frac{hb_{3M}}{\sin \beta} - \frac{u_{33M}^* l_3}{2} - \frac{u_{23M}^* l_2}{2} \right] - \frac{h}{2} v^2 \gamma_{ep} b_{3M} (1 - \sin \alpha_{3M}) \right\} \times$$

$$\times [1 - \sin \alpha_{3M} + tg \varphi_{3M} (1 - \cos \alpha_{3M})] + \left\{ \gamma_{zp} gh \left[(a_1 - b_{3M} - u_{1H}^*) l_1 + \frac{h(a_3 - b_{3M})}{\sin \beta} - \frac{u_{3H}^*}{2} l_3 - \frac{u_2^*}{2} l_2 \right] + \frac{h}{2} v^2 \gamma_{zp} b_H (1 - \sin \alpha_H) \right\} [1 - \sin \alpha_H + tg \varphi_H (1 - \cos \alpha_H)]; \quad (2.79)$$

якщо прийняти, що $\sin \alpha_H = k_H S$; $\sin \alpha_{3M} = k_{3M} S$, де k_{3M} – коефіцієнт пропорційності, то маємо:

$$R_x = \left\{ \gamma_{zp} gh \left[(a_1 - u_{13M}^*) l_1 + \frac{hb_{3M}}{\sin \beta} - \frac{u_{33M}^* l_3}{2} - \frac{u_{23M}^* l_2}{2} \right] - \frac{h}{2} v^2 \gamma_{zp} b_{3M} (1 - k_{3M} S) \right\} \times \\ \times \left[1 - k_{3M} S + tg \varphi_{3M} (1 - \sqrt{1 - k_{3M}^2 S^2}) \right] + \left\{ \gamma_{zp} gh \left[(a_1 - b_{3M} - u_{1H}^*) l_1 + \frac{h(a_3 - b_{3M})}{\sin \beta} - \frac{u_{3H}^*}{2} l_3 - \frac{u_2^*}{2} l_2 \right] + \frac{h}{2} v^2 \gamma_{zp} b_H (1 - k_H S) \right\} \left[1 - k_H S + tg \varphi_H (1 - \sqrt{1 - k_H^2 S^2}) \right]. \quad (2.80)$$

Аналіз формул (2.75), (2.77), (2.79) свідчить, що тяговий опір є функцією від кута формування різальної кромки полоза сошника в процесі його експлуатації. Графічне представлення характеру залежностей тягового опору від напрацювання за формулами (2.76), (2.78) і (2.80) наведено на рис. 2.15.

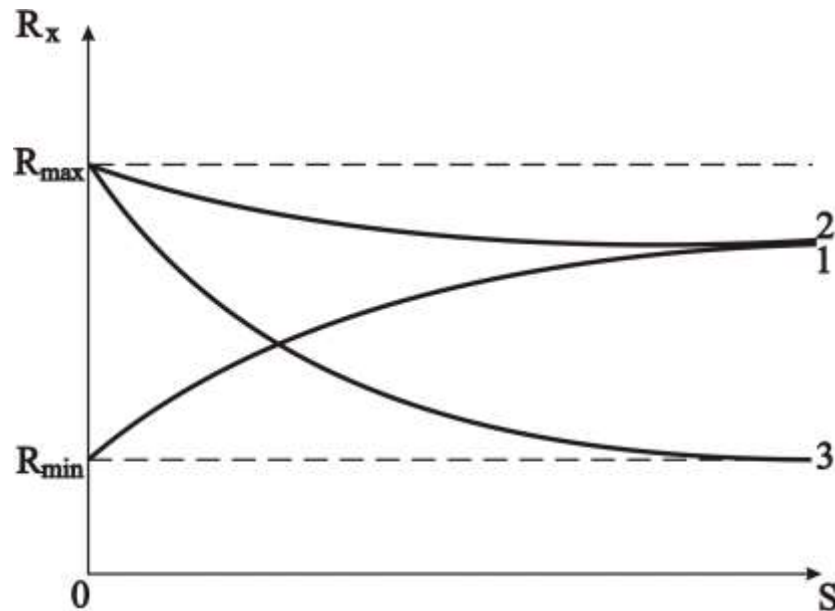


Рис. 2.15. Залежність зміни тягового опору полозкового сошника від напрацювання: 1 – загострений стандартний; 2 – незагострений незміцнений; 3 – незагострений зміцнений

Можна бачити, що тяговий опір сошника з незміцненим і загостреним полозом (крива 1) зростає від мінімального до максимального значення, після

якого практично не залежить від напрацювання. Тяговий опір незагострених і незміцнених полозів (крива 2) сошників в початковий момент має величину, яка з напрацюванням зменшується до певної величини, а потім знову зростає.

У випадку зміцнення полозу сошника запропонованим способом (крива 3) величина тягового опору зменшується від максимальної величини в початковий період до мінімального значення після деякого напрацювання.

На основі рівняння Хрущова-Бабичева встановлено закономірності інтенсивності зношування полозів сошників для його характерних трьох зон зношування в процесі експлуатації в середовищі ґрунту. Доведено, що найбільшу величину зносу має друга зона робочої поверхні полозу. Отримано формули (2.9), (2.13), (2.17) залежності зносу від напрацювання сошника для його робочих зон.

Досліджено динаміку зношування лез полозів, як загострених стандартних, так і незагострених. При цьому отримано математичну модель (2.19) процесу затуплення кромки леза. Показано, що леза полозкових сошників недоцільно попередньо загострювати.

Враховуючи величину зміщення вершини кромки леза відносно його середини при зміцненні, а також сукупності співвідношення значень твердості, зносу та товщини зміцненого та несучого шарів, отримано умову (2.33) самозагострювання леза полозу запропонованої конструкції, тобто з привареною композиційною стрічкою збільшеної зносостійкості.

З урахуванням середніх розмірів абразивних частинок в ґрунті та керамічних частинок наповнювача композиційної стрічки, отримано вираз (2.35) для оптимальної концентрації останніх, а також виходячи з умов термомеханічної сумісності фаз сформованого на робочій поверхні композиційного покриття, отримано вираз (2.56) оптимального діаметру керамічної частинки наповнювача.

На основі схем формування геометрії леза полозів сошника, а також комплексу діючих сил, отримано формули для визначення тягового опору від конструктивних характеристик полозу та експлуатаційних параметрів його

функціонування для наступних випадків: лезо незміцнене і незагострене (2.76); лезо стандартне загострене (2.78); лезо зміцнене і незагострене (2.80).

Виявлено та обґрунтовано характер зміни величини тягового опору від напрацювання для зазначених випадків. Показано специфічність характеру кривої для випадку незагострених полозів як у незміцненому, так і у зміцненому випадках: на відміну від загостреного стандартного полозу на початковій стадії експлуатації тяговий опір незагостреного полозу має максимальне значення, а загостреного – мінімальний; з напрацюванням тяговий опір незагостреного леза зменшується до певної величини, що залежить від способу зміцнення, а загостреного – зростає до максимальної величини.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма та загальна методика експериментальних досліджень

У відповідності з поставленою метою і сформульованими задачами в даній роботі розроблена програма експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження передбачали розв'язання наступних задач:

- визначення величини та характеру зношування лез вертикально-розміщених полозів серійних та незагострених сошників;
- дослідження структури і основних властивостей зміцнюючих композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням кераміко-металевої стрічки на полози;
- визначення абразивної зносостійкості зміцнених лабораторних зразків в лабораторних умовах;
- проведення стендових та експлуатаційних випробувань експериментальних сошників зернових сівалок зі зміцненими полозами запропонованим способом;
- дослідження енергетичних характеристик полозкових сошників зернових сівалок зі зміцненими полозами.

При розв'язанні експериментальних задач використані методи фізичного та математичного моделювання, металографічного та рентгенівського аналізів, методи визначення лінійного та вагового зносу, методи визначення параметрів профілів лез полозів [12,32,57,58,85,91,117,121,130] тощо.

3.2. Методика конструювання сошника.

3.2.1. Отримання композиційних кераміко-металевих стрічок для зміцнення лез різальних елементів сошників

Виготовлення композиційних кераміко-металевих стрічок здійснювали методами порошкової металургії [83,95,102]. Технологія їх виготовлення розроблена сумісно з НВО “Композиційні системи” (Грузія) [60] і включає в себе наступні операції:

- змішування вихідних порошкових матеріалів;

- плакування порошків нікелем, тобто, отримання композиційних порошків;
- зволоження порошкової суміші;
- прокочування стрічки на прокатному стані;
- спікання стрічки в інертному газовому середовищі.

Гранулометричний контроль керамічного наповнювач здійснювався за допомогою лічильника “ТА-П” фірми “Cultur” (Франція). Прилад дозволяє автоматично розподіляти частинки за розмірами від 0,4 мкм до декількох сотень мікрометрів. Детектування частинок відбувається в підвішеному їх стані в електроліті складу: 0,9...4% - NaCl; 5% - Na_3PO_4 ; 2% - ацетату натрію; решта – вода.

Змішування вихідних порошків здійснювали в змішувачі типу “п’яна діжка”. Отриману механічну суміш завантажували в автоклав, де проводили плакування порошків нікелем гідрометалургійним способом. Схема процесу плакування (рис.3.1), розроблена в НВО “Композиційні системи” (Грузія) [60].

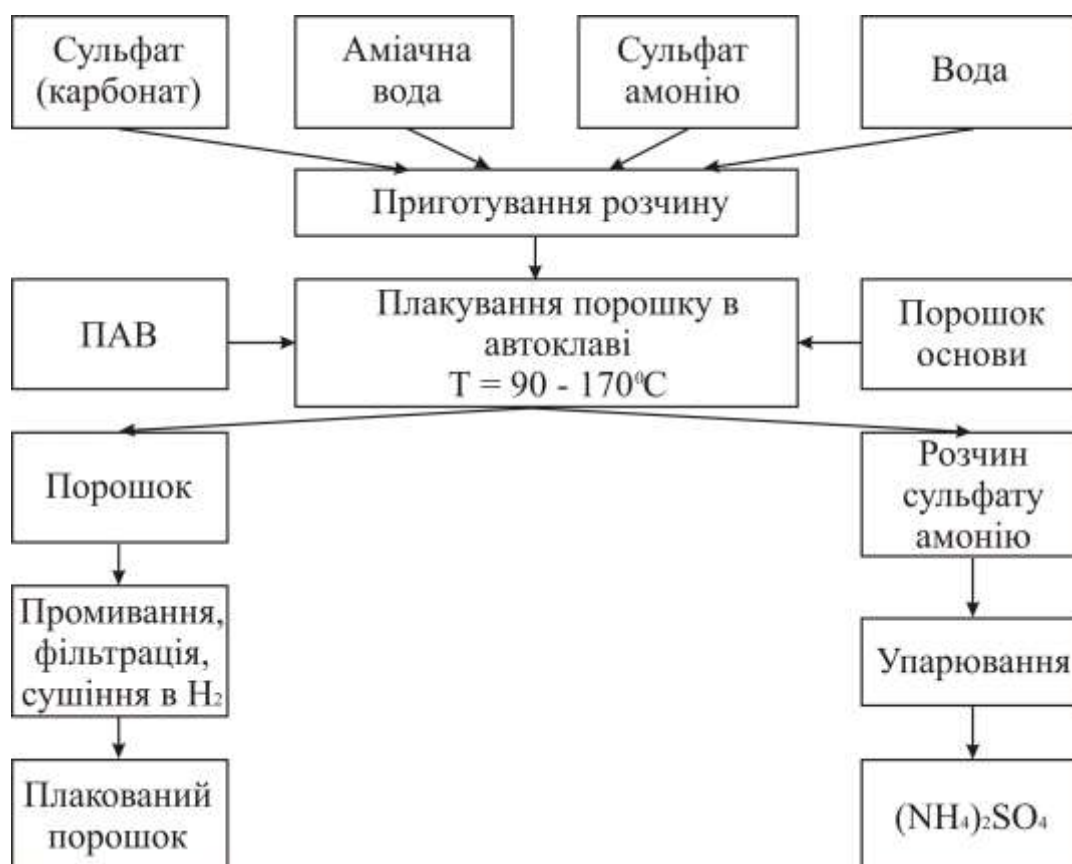


Рис. 3.1 Схема процесу плакування порошків гідрометалургійним методом

Прокочування стрічок здійснювали як на лабораторному (рис. 3.2), так і на промисловому стані (рис. 3.3).

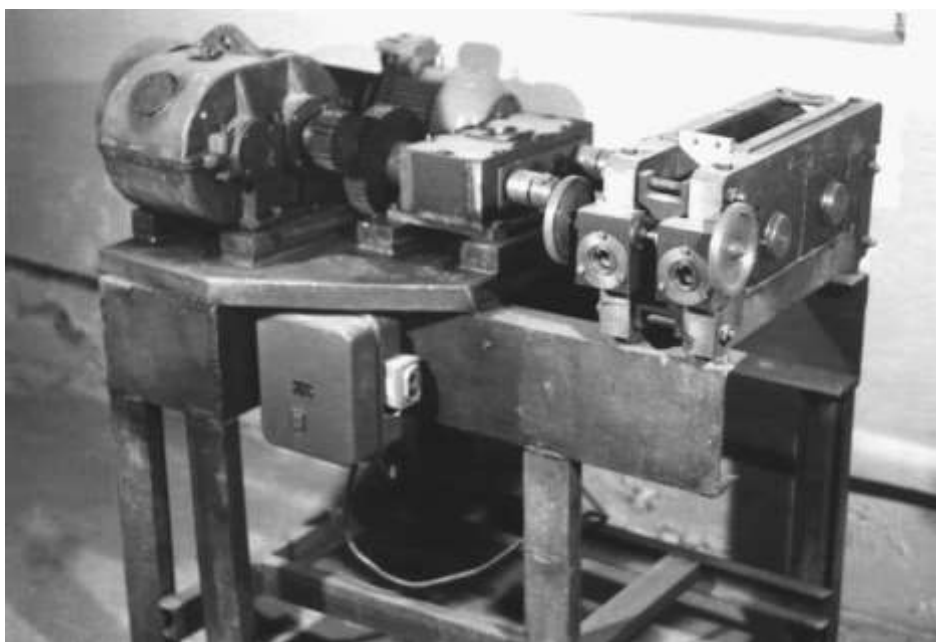


Рис. 3.2 Лабораторний стенд для прокочування композиційних стрічок

В основу конструкції станів покладено принцип гравітаційної подачі порошкової суміші, підпір якої відбувається за рахунок її власної ваги. При цьому забезпечуються оптимальні умови захвату і ущільнення порошку.

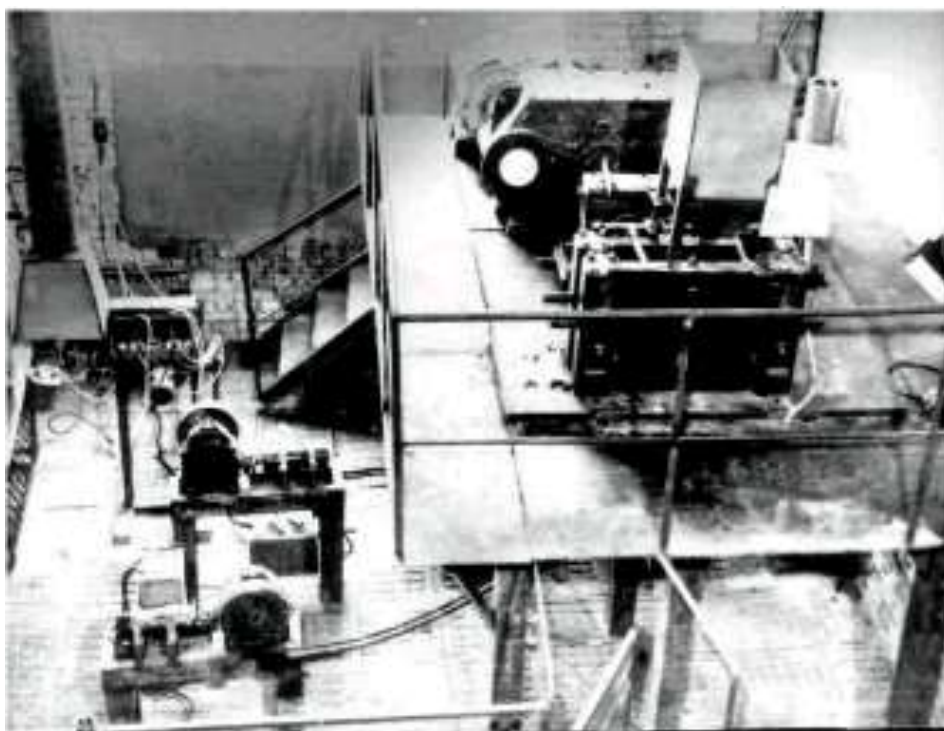


Рис. 3.3 Промисловий стан для прокочування композиційних стрічок

Схема процесу прокочування композиційних стрічок наведена на рис. 3.4.

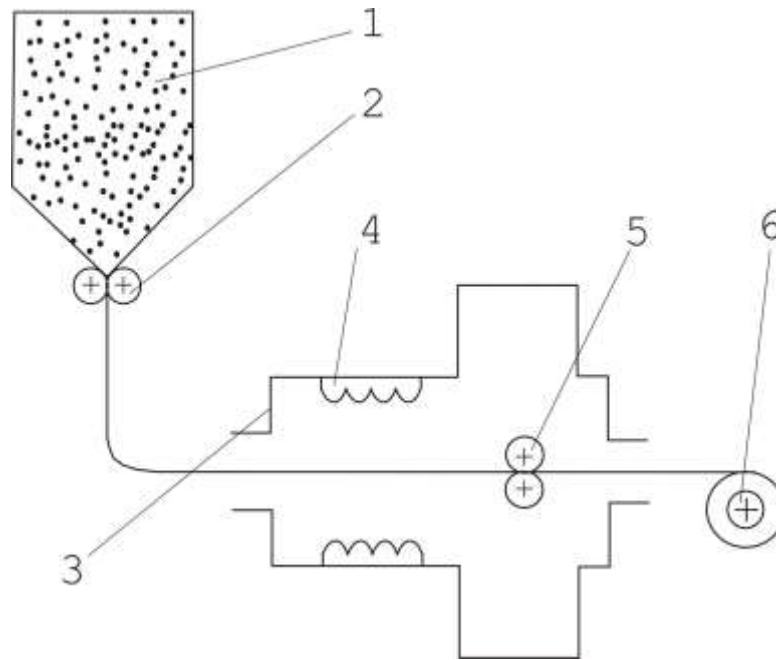


Рис. 3.4 Схема процесу прокочування композиційних стрічок: 1 - бункер;
2 – прокочувальні вальці ; 3 – камера з інертним газом; 4 – піч спікання;
5 – калібрувальні вальці ; 6 – котушка

Перед засипанням в бункер прокатного стану порошок зволожували водою з розрахунку 5...15 г води на 1 кг порошку.

Прокочування композиційних стрічок складів $\text{Fe-Cr-Ni-Cr}_3\text{C}_2$ та Fe-Cr-Ni-TiC здійснювали в вальцях діаметром 0,22 м і шириною 0,02 м зі швидкістю 0,05 м/с. Формувались стрічки товщиною 10^{-3} м та шириною $2 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 3.5).



Рис. 3.5 Загальний вигляд композиційної кераміко-металевої стрічки

Спінання прокочених композиційних стрічок здійснювали в прохідній печі в атмосфері водню з витримкою при температурі 1473°K протягом 2 годин. В лабораторних умовах використовували трубчасту піч з контактним нагрівом (рис. 3.6).

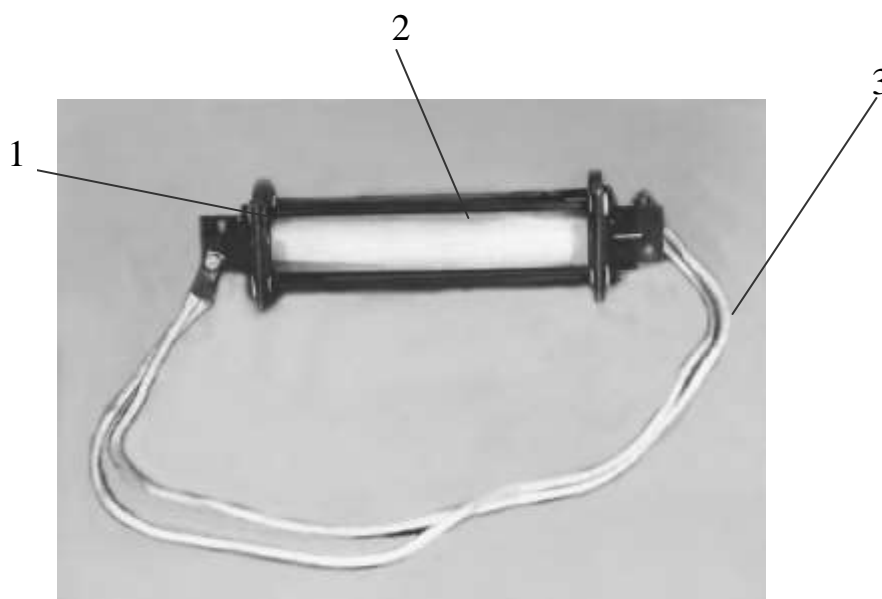


Рис. 3.6 Лабораторна установка для контактного спікання зразків стрічок: 1-контактна група; 2-піч спікання; 3-електричний дріт

3.2.2. Контактне наварювання композиційних кераміко-металевих стрічок на плоскі лабораторні зразки та сошники

Контактне наварювання композиційних кераміко-металевих стрічок на плоскі зразки та полози полозкових сошників зернових сівалок здійснювали на серійній установці 011-1-02 Н “Ремдеталь” (рис. 3.7).

Установка являє собою сполучення шпінделя 1 і зварювальних кліщів 2, оснащених роликowymi електродами шириною робочої частини 8 мм та діаметром – 160 мм. Композиційні стрічки наварювали імпульсами змінного струму промислової частоти від зварювального трансформатора ТВК-75, який забезпечує вісім ступенів регулювання величини струму. За допомогою регулятора циклів зварювання РЦС-503 (3) змінювали величину струму в межах вибраного ступеню від 0,6 до номінального значення. Тривалість циклів зварювання і пауз між ними змінювали відповідно в межах від 0,02 до 1,4 с та

від 0,02 до 6 с. Зусилля стиску електродів регулювали зміною тиску повітря в пневмоциліндрах, яке контролювали за допомогою манометра 4. Для отримання достовірних значень зварювального струму використовували індикатор ИСТ-500 (5), з інтервалом вимірювань 2...500 кА. Амперметр 6 використовували для попереднього налагоджування індикатора зварювального струму.

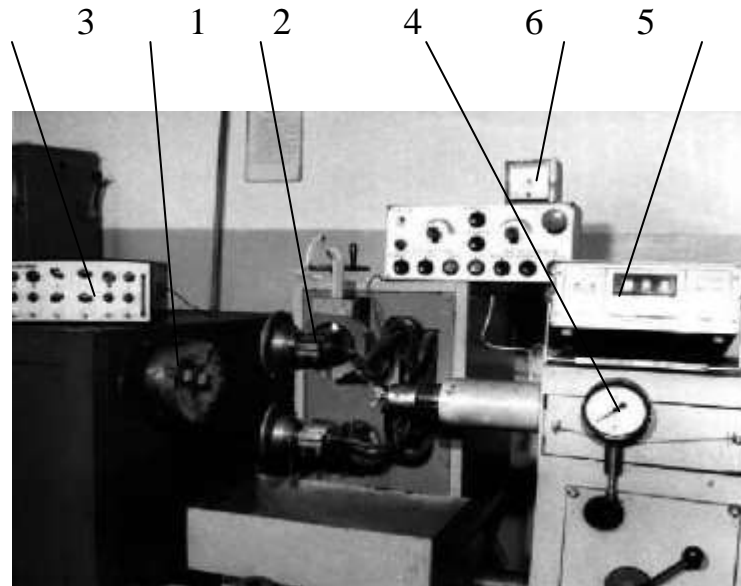


Рис.3.7 Установка для контактного наварювання композиційних стрічок

Для наварювання стрічок 2 на поверхню полозів 3 розроблено і виготовлено пристосування (рис. 3.8), яке забезпечує повздовжню та поперечну подачу деталі відносно роликів електродів 1. Воно кріпиться до корпусу машини за допомогою опор 11,13. Швидкість наварювання регулювали зміною швидкості переміщення нижнього повзуна 8 шляхом збільшення чи зменшення частоти обертання шпінделя машини. При цьому задіяні: пасова передача 10, шестерня 7, рейка 6. Поперечну подачу забезпечували переміщенням верхнього повзуна 5 відносно платформи 12 за допомогою передачі гвинт-гайка 9. Під час наварювання криволінійної поверхні полозу його провертали навколо осі штифта 4.

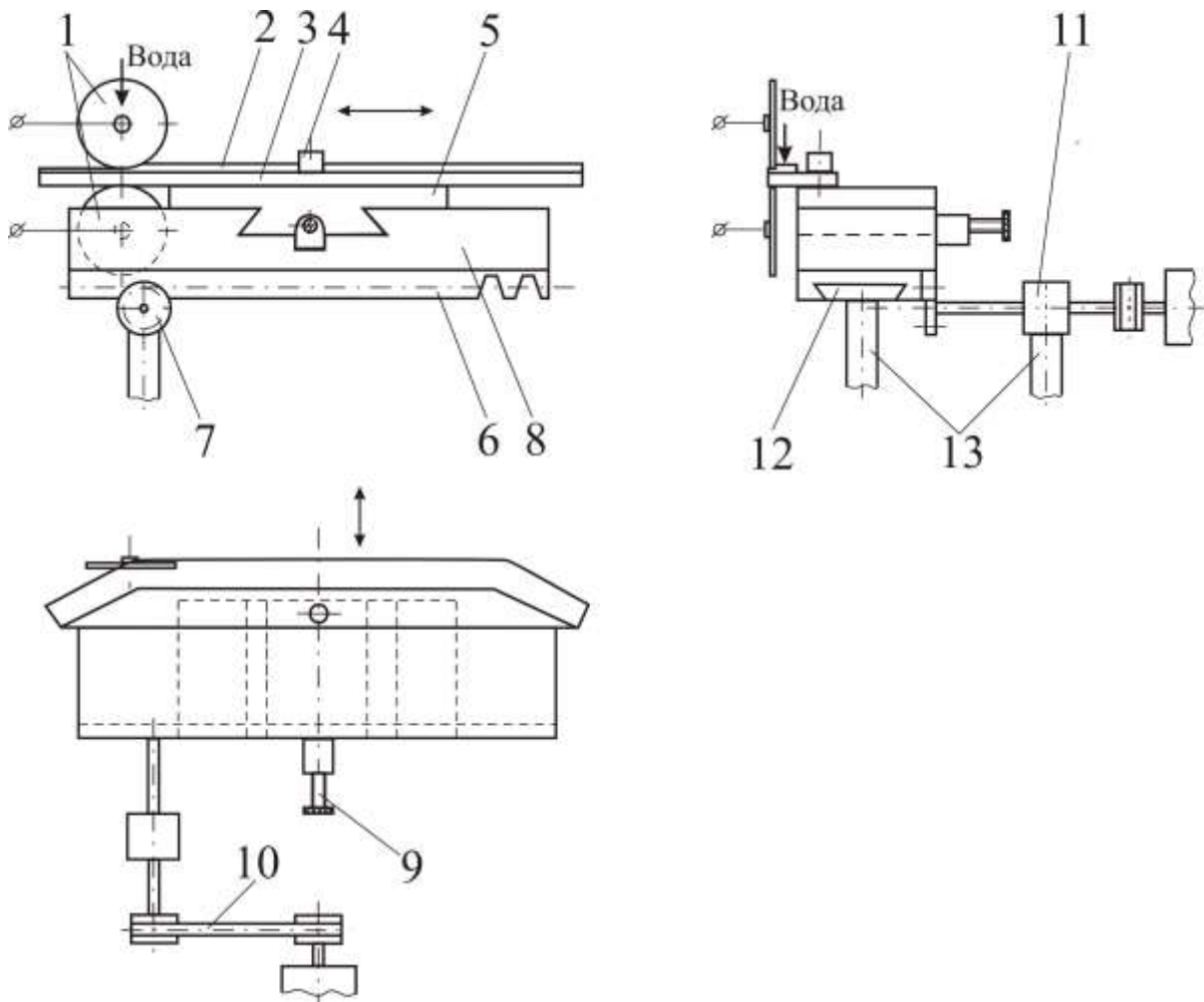


Рис. 3.8 Схема пристосування для контактного наварювання полозів: 1 – роликові електроди; 2 – кераміко-металева композиційна стрічка; 3 – полоз; 4 – штифт; 5 – верхній повзун; 6 – рейка; 7 – шестерня; 8 – нижній повзун; 9 – передача гвинт-гайка; 10 – пасова передача; 11 – підшипникова опора; 12 - направляюча платформа; 13 – опори

Контактне наварювання композиційних стрічок на лабораторні зразки та полози сошників зі сталі 65Г товщиною $4 \cdot 10^{-3}$ м проводили на установці 011-1-02 «Ремдеталь» з розробленим пристосуванням для наварювання композиційних покриттів на плоскі поверхні деталей в наступних режимах: $I=8$ кА; тривалість зварювальних імпульсів – $t=0,06$ с; тиск на електродах – $P=70$ МПа; швидкість наварювання – $V_n=0,012$ м/с.

3.3. Методика дослідження величини та характеру зношування ґрунторізальних елементів в лабораторних умовах

3.3.1. Умови проведення лабораторного експерименту та дослідження зносу ґрунторізальних елементів

Для центральних областей України, в тому числі і Кіровоградської області характерним типом ґрунтів є чорноземи глибокі малогумусні важкосуглинкові різного ступеню змитості. З метою максимального наближення умов проведення лабораторного експерименту до реальних умов в якості абразивного середовища використовували ґрунт, який містить 70% “фізичної” глини та 30% “фізичного” піску.

Механічний склад абразивного середовища при підготовці лабораторного та польового експерименту визначався за методом М.М. Філатова [37]. Зразок ґрунту ретельно подрібнювали товкачиком в ступці і просіювали на ситі з діаметром отворів 1 мм. В основу визначення вмісту “фізичної” глини в ґрунті покладено його здатність до різного ступеню набухання в залежності від кількості глинистих часток в ньому. Для реалізації цієї властивості в мірний циліндр ємністю 50 мл насипали просіяний ґрунт до позначки 5 мл. Необхідну щільність набивки ґрунту досягали ущільненням його скляною паличкою з гумовим наконечником. Після цього в мірний циліндр доливали 30 мл води і 5 мл 1% розчину хлористого кальцію (для коагуляції колоїдних часток), старанно перемішували і давали відстоятися суміші протягом 30 хвилин і визначали приріст об’єму. Вміст “фізичного” піску визначали виходячи з того, що швидкість осідання піщаних та глинистих часток з ґрунтової суспензії різні.

В циліндр ємністю 100 мл насипали просіяний ґрунт до позначки 20 мл і злегка його ущільнювали. Доливаючи воду до 100 мл, ретельно перемішували і через 1,5 хвилини зливали каламутну воду. Операцію по доливанню води, повторювали до тих пір, поки вода в циліндрі не стала чистою. Далі вимірювали об’єм піску в циліндрі, виходячи з міркувань: 1мл піску, що залишився в циліндрі, відповідає 5% вмісту його в ґрунті.

Вологість абразивного середовища підтримували в межах 17...20% шляхом його періодичного зволоження водою через кожну годину роботи лабораторного стенду. Загальний вигляд та схему стенда представлено на рис. 3.9 та 3.10.

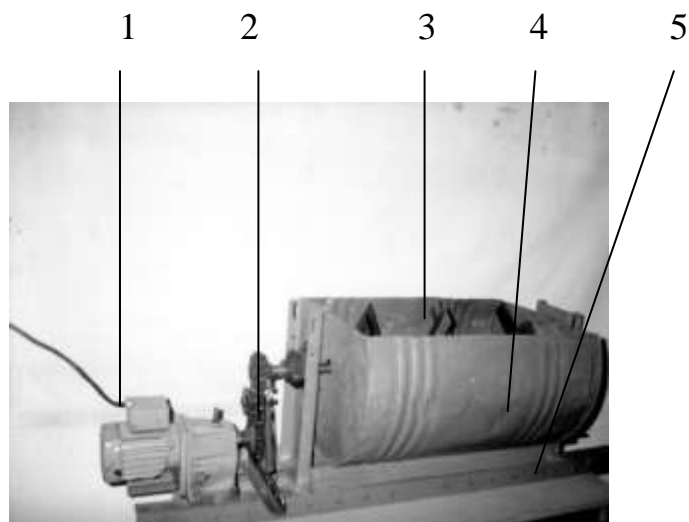


Рис. 3.9 Загальний вигляд лабораторного стенда для проведення випробувань лабораторних зразків на абразивну зносостійкість: 1 – двигун-редуктор; 2 – ланцюгова передача; 3 – зразок; 4 – корпус з абразивом; 5 – рама

Лабораторний стенд (рис. 3.9) складається з двигуна-редуктора 1, циліндричного корпусу 4, всередині якого знаходиться абразивне середовище і лабораторні зразки 3, які піддаються абразивному зношуванню.

Крутний момент від двигуна-редуктора до валу барабана передається за допомогою ланцюгової передачі 2. На валу барабана встановлено чотири шайби, до яких в свою чергу за допомогою болтових з'єднань можна одночасно закріпити вісім зміцнених та вісім незміцнених зразків. Через те, що зразки працювали в практично однакових умовах лабораторні дослідження забезпечували високу достовірність значень їх зносостійкості.

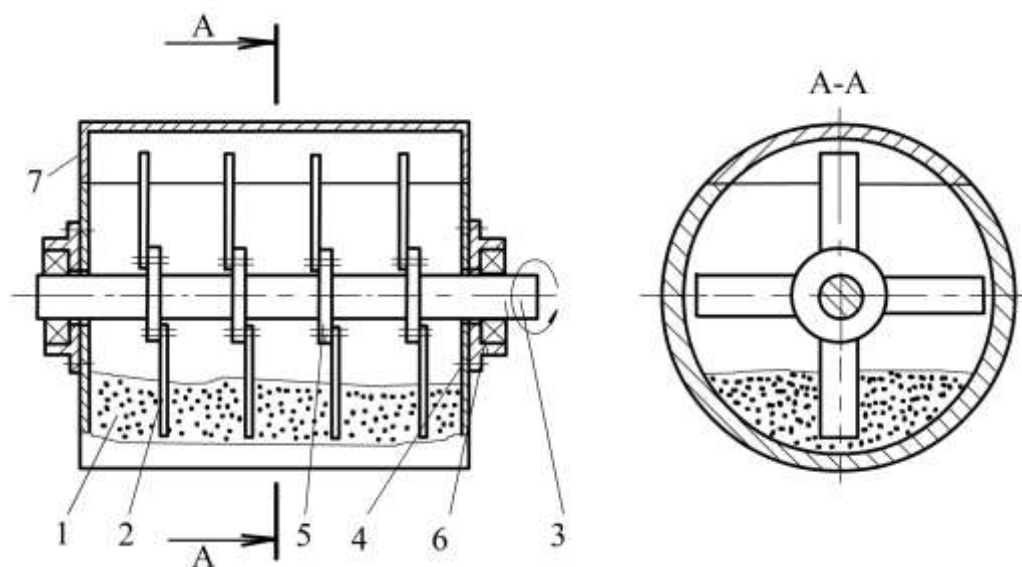


Рис. 3.10 Схема лабораторного стенда для проведення випробувань зразків на зносостійкість: 1–абразивне середовище; 2-зразок; 3-вал; 4-корпус; 5-шайба; 6-опора; 7–кришка

Зразки (рис. 3.11), що підлягали дослідженню, мали розміри 50×120 мм і товщину 4 мм й виготовлені зі сталі 65Г.

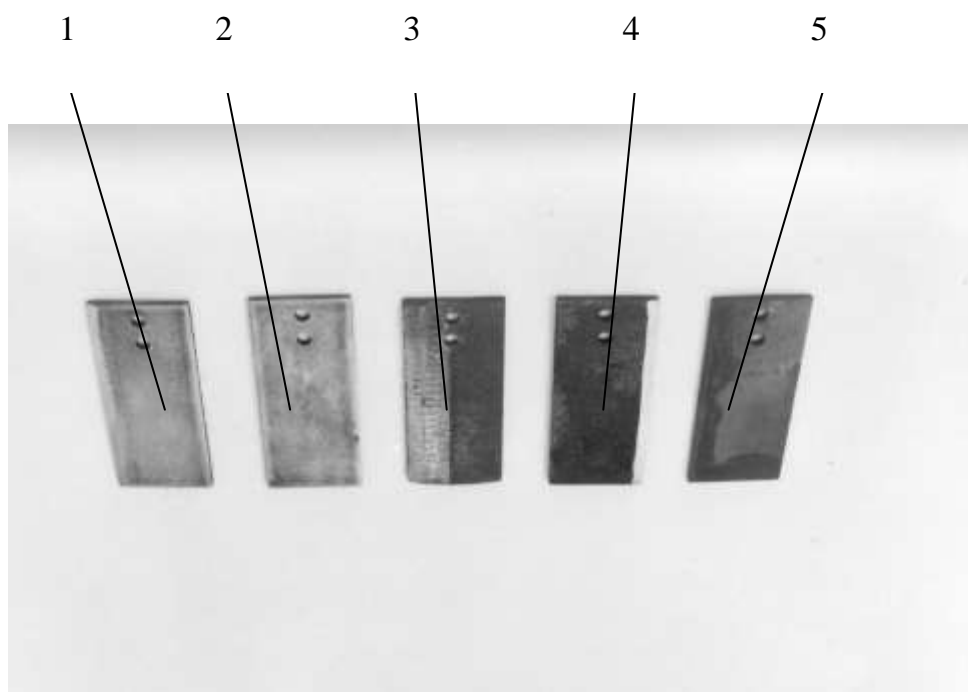


Рис. 3.11 Загальний вигляд лабораторних зразків для проведення лабораторних досліджень на зношування: незагартовані зразки: загострений (1) та незагострений (2); зміцнений наварюванням кераміко-металевої композиційної стрічки (3); загартовані зразки: загострений (4) та незагострений (5)

Знос зразків контролювали ваговим методом за допомогою вагів ВДР-200 з точністю до 10^{-4} г.

Загальна тривалість випробувань на стенді становила 100 годин. Через кожні 10 годин роботи стенда проводили контрольні зважування.

3.3.2. Дослідження змін геометрії зразків і лез полозу сошника та процесу самозагострювання

Для вивчення змін геометрії леза та спостереження прояву ефекту його самозагострювання з напрацюванням використали метод зняття відбитків, застосувавши при цьому пристосування, схему якого представлено на рис 3.12.

Пристосування складається з корпусу 1 і повзуна 2, який переміщується за допомогою гвинта 3. До повзуна кріпиться спеціальна свинцева пластина 4.

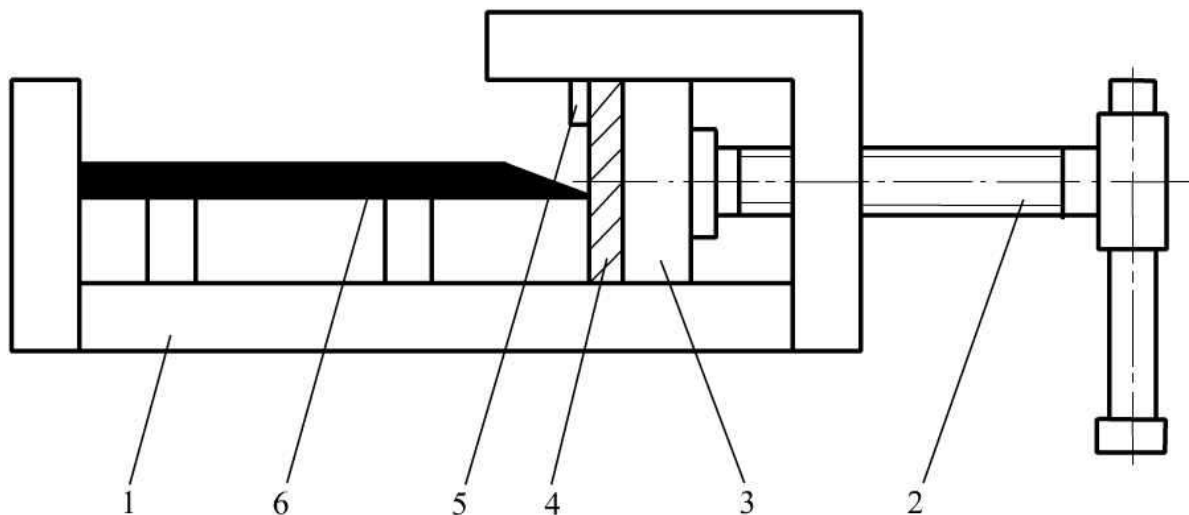


Рис. 3.12 Схема пристосування для зняття відбитків з лез ґрунторізальних елементів: 1-корпус; 2-гвинт; 3-повзун; 4-свинцева пластина; 5-скоба; 6-зразок

Правильна орієнтація свинцевої пластини відносно полоза забезпечується скобою 5. Зняття відбитків досліджуваних лез здійснюється наступним чином. До повзуна пристосування кріпиться заздалегідь приготовлена свинцева пластина, на якій отримують відбитки. Пристосування фіксується на різальному елементі і за допомогою гвинта повзун разом з пластиною подається до різальної кромки.

Отримані відбитки фотографували цифровим фотоапаратом, а інформацію обробляли на ПЕОМ.

При цьому визначали кути загострення, проводили спостереження за їх зміною з напрацюванням, а також фіксували ефект самозагострювання леза.

3.4. Методика дослідження структури, елементного складу і фізико-механічних властивостей наварених композиційних покриттів

Для виявлення ефекту зміцнення зразків і деталей при контактному наварюванні композиційної стрічки необхідно дослідити структуру, елементний склад та фізико-механічні властивості отриманих покриттів.

3.4.1. Мікроструктура та елементний склад

Мікроструктуру композиційних покриттів при наварюванні кераміко-металевих стрічок, вивчали методами світлової мікроскопії. Зразки підлягали металографічному аналізу на мікроскопах “Neophot-30” та МИМ-8.

Травлення мікрошліфів здійснювали реактивами, склад яких наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Склад реактивів для травлення мікрошліфів

Склад реактивів	Умови травлення
8г FeCl ₃ ; 25г HCl; 100мл H ₂ O	Тривалість травлення 180 с.
нерозчинена HNO ₃	Тривалість травлення 5 с.
6 мл 36% оцтової кислоти; 3мл HF; 9мл HNO ₃	Тривалість травлення 10...20 с.

Для визначення хімічного складу стрічок і покриттів, дослідження міжфазної взаємодії, характеру розподілу елементів в покритті, вивчення дифузії основних елементів на границі “Композиційне покриття - основа” деталі використовували мікрорентгеноспектральний аналізатор “Camebax

microbeam”. Прилад дозволяє проводити дослідження з високою локальністю (0,2...2,0 мкм) і чутливістю (0,01...0,5%).

Аналізатор обладнано ЕОМ РДР-11 і мікропроцесором, що дає можливість проводити як кількісний, так і якісний аналіз.

3.4.2. Мікротвердість

Мікротвердість композиційного кераміко-металевого покриття вимірювали за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 у відповідності до ГОСТ 9450-76. Обробку результатів вимірювання проводили методами математичної статистики запропонованими в роботі [67] з використанням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

3.4.3. Пористість

Пористість отриманих композиційних покриттів досліджували металографічним методом. На зразках визначали розподіл пор за розмірами, їх щільність в матеріалі, середню відстань між порами, відсотковий вміст тощо. В основу методу покладено принцип стереоскопічної металографії. Кількісно пористість визначали методом площ, який полягає в розрахунку відношення площі, займаної порами до загальної площі досліджуваної ділянки зразка. З метою підвищення ефективності і точності досліджень величину пористості композиційних покриттів оцінювали автоматичним аналізом за допомогою пристрою “Омнімет” (США) зі скануванням електронним променем у площині зображення.

3.4.4. Напружений стан

Як відомо, майже всі існуючі технологічні способи виготовлення, зміцнення та відновлення деталей машин супроводжуються зміною їх фізико-механічних властивостей по товщині поверхневого шару, що призводить до виникнення в них залишкових напружень.

Напружено-деформований стан наварених композиційних покриттів, у даній роботі визначали за допомогою рентгенівських досліджень.

Експериментальне визначення залишкових напружень І роду композиційних покриттів проводили “ $\sin^2\psi$ ” - методом на дифрактометрі

“ДРОН-3М”. Напружено-деформований стан оцінювався за зсувом і за уширенням ліній на дифрактограмі. За уширенням ліній β оцінювали величину напружень II роду.

Дослідження проводили на зразках у поперечному перерізі при пошаровому зніманні певної товщини покриття за глибиною. Вихідна товщина покриття складала $0,5 \cdot 10^{-3} \dots 0,7 \cdot 10^{-3}$ м. Попередньо, шари товщиною $2 \cdot 10^{-3}$ м знімали шліфуванням алмазними кругами. Застосування алмазних кругів виключало виникнення додаткових порушень будови матриці покриття, викришування карбідної фази. Операції шліфування виконували з використанням рідинного охолодження з метою зменшення термічного впливу на зразок під час шліфування. Для зняття залишків наклепаного шару, що залишився після шліфування поверхню полірували електролітичним способом [12,57]. Промивання зразків від продуктів травлення здійснювали послідовно в ацетоні, метиловому спирті та хімічно чистому бензині.

Розрахунок напружень II роду і розміру блоків проводили з використанням методу апроксимації, а також методу гармонійного аналізу. У методі апроксимації одержували профілі однієї і тієї ж лінії на дифрактограмі від досліджуваного зразка і еталона. Ширина лінії від еталону обумовлена тільки геометричними факторами. За отриманими профілями ліній для зразка $h(x)$ і еталону $g(x)$ визначали відповідно півширину ліній B і b .

У випадку, коли профіль $h(x)$ від досліджуваного зразка можна апроксимувати гаусівською кривою, величина кутового уширення визначається за формулою:

$$\beta = \sqrt{B^2 + b^2}, \quad (3.1)$$

де величини β , B , b виражені в радіанах.

Величину мікронапружень оцінювали за виразом:

$$\sigma = \frac{\Delta}{d} E = \frac{\beta}{\operatorname{tg} \theta} E, \quad (3.2)$$

де E – модуль пружності композиційного покриття, МПа;

Δ – максимальне відхилення міжплощинної відстані даної дифрактометричної лінії від його середнього значення і даного розміру блоків L – мозаїчної структури матеріалу, мкм; d – міжплощинна відстань, мкм; θ – положення k -го дифракційного максимуму.

Розрахунок поля напружень в лезах полозів в процесі взаємодії його з абразивним технологічним середовищем визначали методом кінцевих елементів на ПЕОМ. Аналіз та розрахунок поля напружень і деформацій на робочих поверхнях виконували за допомогою пакету COSMOSWorks інтегрованого в CAD-систему SolidWorks [1].

На першому етапі будували модель леза в CAD-системі SolidWorks з урахуванням геометричних параметрів. Після цього для проведення аналізу побудованої моделі активізували модуль COSMOSWorks (Manager). За допомогою панелі інструментів вибирали вікно Study, в якому задавали тип аналізу Static Type та тип кінцевих елементів Mesh Type.

В менеджері COSMOSWorks задавали матеріал деталі (пункт меню Apply/Edit Material). Зазначимо, що COSMOSWorks має бібліотеку матеріалів та їх властивостей, яку можна редагувати у разі відсутності відомостей про досліджуваний матеріал. Редагування проводили в текстових і цифрових полях панелі Material.

Після цього в менеджері COSMOSWorks вводили граничні умови – Restraints. У вікні Restraints вибирали грані переміщення, які в умовах задачі необхідно обмежити у визначених напрямках.

Потім на досліджуваних поверхнях розподіляли навантаження, аналогічно тим, що спостерігаються в умовах експлуатації, за допомогою панелі Pressure відповідними опціями.

Після перевірки налагодження аналізу методом кінцевих елементів будували сітку за допомогою пункту меню Mesh, в якому задають необхідні параметри та визначають розміри кінцевих елементів.

Далі із контекстного меню, що відповідає піктограмі Static Analysis – Pressure, запускали процедуру розрахунку командою Run. При цьому в

менеджері з'являються папки Stress (Напруження), Displacement (Переміщення), Strain (Деформація), Deformation (Деформований вигляд), Design Check (Перевірка міцності), в яких подано результати розрахунків відповідних величин та їх наочне представлення.

Розподіл поля напружень по Мізесу отримували в поздовжньому перерізі деталі.

У навантаженій деталі виділяються характерні області з різною величиною напруження. Про це свідчить колір областей. Величину напружень можна визначити за шкалою розподілу кольорів.

Отриману інформацію про напружений стан деталі наочно можна подати і у вигляді сукупності ліній, точок, де величини напружень однакові, а також можна побудувати розподіл напружень вздовж осей координат.

3.5. Методика стендових випробувань величини та характеру зношування сошників

3.5.1. Круговий стенд прискорених випробувань сошників

Випробуванню на зношування підлягали полозкові сошники (рис. 3.13), що мали полози (рис. 3.14), зміцнені приварюванням композиційних стрічок, та серійні загострені і експериментальні незагострені полози.

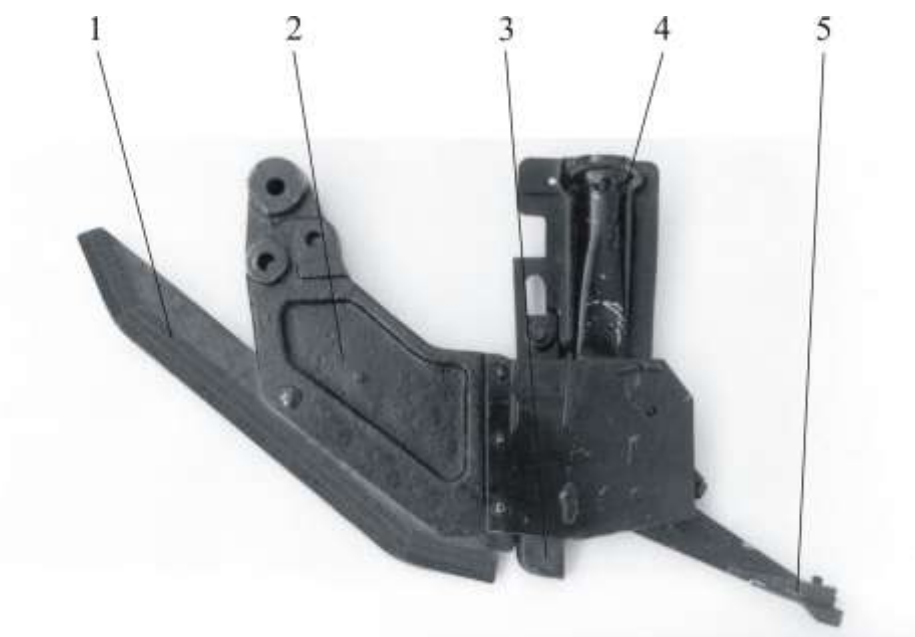


Рис. 3.13 Полозковий сошник зернової сівалки зі зміцненим полозом:
1-полоз; 2-корпус; 3-ущільнююча п'ятка; 4-раструб; 5-загортаюча п'ятка

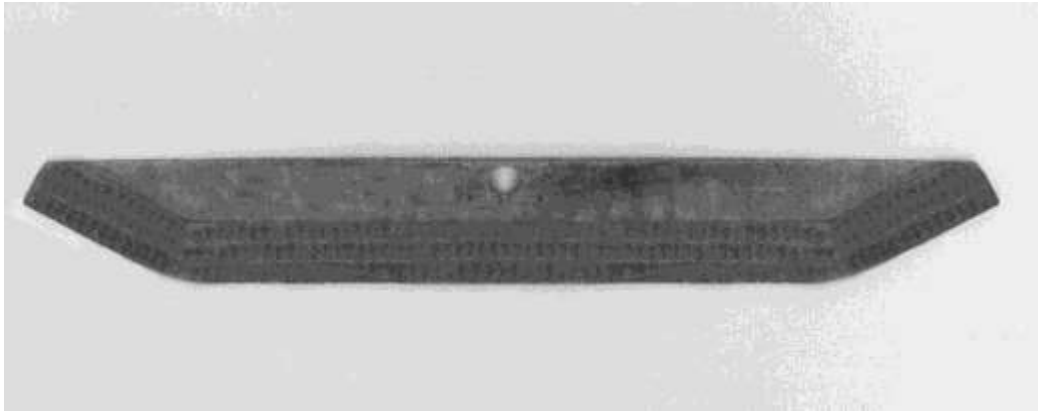


Рис. 3.14 Полоз полозкового сошника зі зміцненим лезом

Дослідження величини та характеру зношування полозів проводили на круговому стенді для прискорених випробувань (рис. 3.15). Навколо ґрунтового каналу 2 на висоті 0,5 м від рівня підлоги викладено бігову доріжку 1.

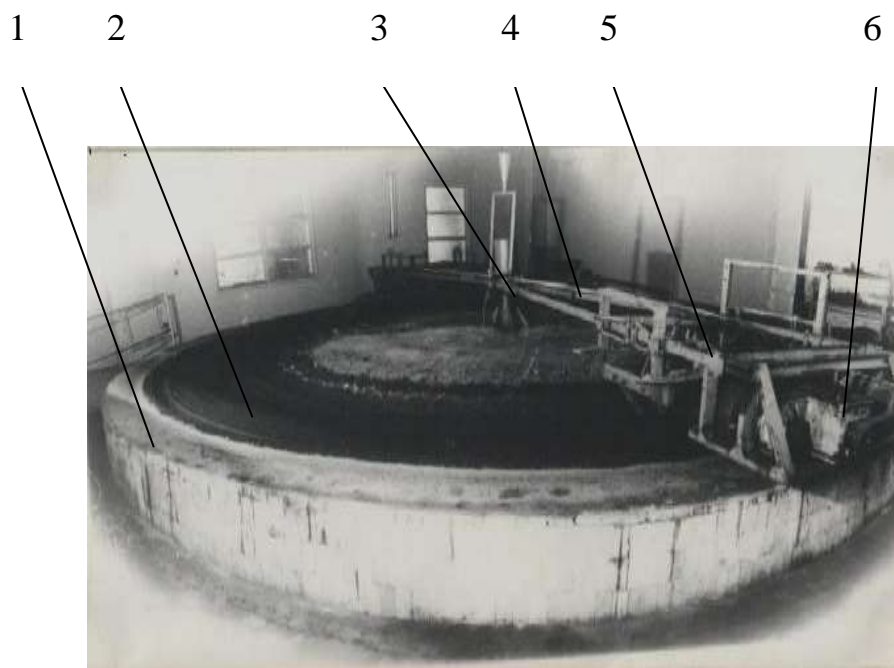


Рис. 3.15 Круговий стенд для прискорених випробувань полозкових сошників зернових сівалок: 1-бігова доріжка; 2-ґрунтовий канал; 3-колона; 4-рама; 5-приводний візок; 6-редуктор

Всередині ґрунтового каналу розміщена колона 3, навколо якої рухаються привідні візки 5, з'єднані рамою з колоною.

Привод візка має триступінчате регулювання швидкості, для чого на ньому встановлено редуктор 6 з передаточними відношеннями (u): 13,0; 15,1;

22,5. На візку встановлювали сошники з серійними та зміцненими полозами. Випробування проводили на максимальній швидкості руху візка – 2,92 м/с.

Коротка технічна характеристика стенду наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технічна характеристика кругового стенду

Назва показника	Величина
Зовнішній діаметр ґрунтового каналу, м	10
Глибина шару ґрунту в каналі, м	0,30
Швидкість руху візка, м/с	1,5; 2,19; 2,92
Потужність електродвигуна, кВт	7,4
Частота обертання вала електродвигуна, с ⁻¹	24,0

В якості абразивного середовища при випробуваннях використано найбільш зношуючий склад ґрунту – одна частина глини і п'ять частин піску. Структура ґрунту – комкувата, мікрорельєф – вирівнений. Вологість ґрунту, завдяки встановленому на рамі спеціальному пристосуванню, підтримували в межах по горизонтах відповідно: 0...5см – 17,0 %; 5...10см – 22,0 %. Твердість ґрунту в тих же горизонтах підтримували в межах значень 0,05 МПа та 0,14 МПа. Через кожні 10 годин роботи стенду, що відповідало приблизно 1,57 га напрацювання полози піддавались контролю.

3.5.2. Дослідження динаміки зношування та самозагострювання лез

На основі аналізу зміни конструкції серійного полозу встановлено три характерні зони його зношування (рис.3.16 а): І–зона ложеутворення, ІІ–перехідна зона, ІІІ–зона різання. Зони, зміцнені контактним наварюванням композиційної стрічки на робочі поверхні, показано на рис. 3.16 б.

Лінійний знос у виділених зонах контролювали індикатором годинникового типу ИЧ-10М, протарованим на мірних плитках. При цьому полóz неробочою частиною встановлювали на повірочну плиту і визначали початкову і наступну висоту з точністю до 0,01 мм.

Для вивчення динаміки лінійного зношування зміцнених та серійних лез полозів в процесі роботи використано планіметричний метод. Сутність методу полягає в поетапній фіксації геометрії леза в залежності від напрацювання. Для цього на планіметр (рис. 3.17), що являє собою плоску основу з закріпленим на ній папером з координатною сіткою фіксують полоз, причому такий, що не був в експлуатації (рис. 3.17). Початковий контур леза окреслювали на папері гостро загостреним олівцем.

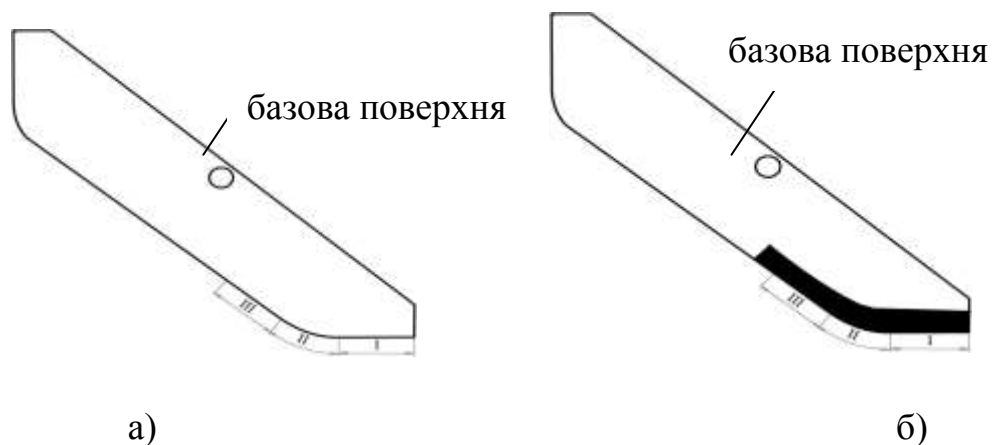


Рис. 3.16 Зони мікрометражу на полозі: а-незміцнений; б-зміцнений

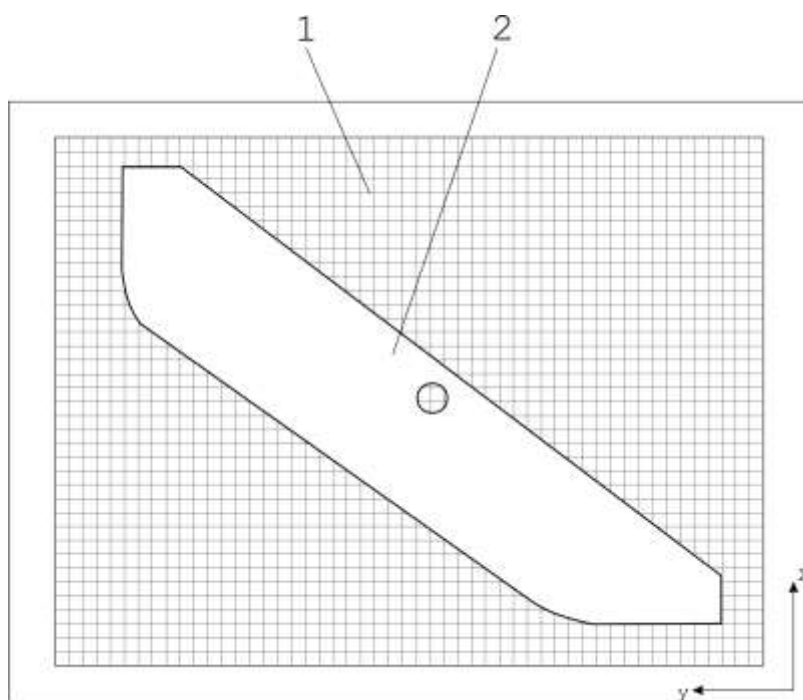


Рис 3.17 Схема пристосування для визначення зношування полозів сошників:

1 – планіметр, 2 – полоз

Зміну геометричної форми полозу визначали у наступній послідовності:

- між полозом і основою розміщували лист картону з координатною сіткою;
- окреслювали контур полозу на картоні;
- після певного напрацювання контур полозу наносили на лист картону, де був відображений контур нової деталі, за викладеною вище послідовністю;
- за різницею відстаней у вибраних напрямках між початковим та кінцевим контурами визначали зміну його геометрію по довжині.

Отримані дані обробляли математико-статистичними методами на ПЕОМ.

Зазначена методика дозволяє спостерігати за динамікою зміни форми стандартних, і експериментальних незміцнених та зміцнених незагострених полозів в процесі стендових та експлуатаційних випробувань сошників та фіксувати появу стану її стабілізації.

Вивчення характеру формування самозагострюваного зміцненого леза виконували методом зняття відбитків з досліджуваних ділянок, який наведено в п. 3.3.2.

Щоб визначити автоматично величину зносу в характерних зонах полозу і відповідну форму його профілю фотографували цифровою камерою з фіксованою величиною збільшення. Електронну інформацію зображення імпортували в окремий шар програми КОМПАС – 3D V10.

Після створення другого шару поверх першого проводили окреслення профілю леза полозу. Співставлення профілів, отриманих при різних напрацюваннях, автоматизовано визначали величину зносу полозу в характерних точках. Крім цього, за отриманою інформацією визначали радіус різальної кромки.

3.6. Методика польових випробувань сошників

Дослідження абразивної зносостійкості сошників (в польових умовах проводили на дослідному полі Кіровоградського національного технічного університету (КНТУ), де залягають чорноземи звичайні, глибокі малогумусні важкосуглинкові слабозмиті.

За період досліджень вологість ґрунту на глибині до 20 см коливалась в межах 17...21%. Її визначали методом висушування.

Перед початком випробувань визначали механічний (гранулометричний) склад ґрунту в горизонті 0...20 см (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Механічний склад ґрунту на дослідному полі КНТУ

Механічний склад	Фракція, мм						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	Сума < 0,01
%	0,21	7,80	31,10	8,90	11,40	40,59	60,89

Польові випробування проводили за допомогою посівного агрегату (рис. 3.18) в складі трактора Т-4 та макету зернової сіялки, виготовленої на кафедрі сільськогосподарського машинобудування КНТУ. Конструкція сіялки дозволяє одночасно навішувати на її раму чотири сошники. З метою отримання максимально достовірної інформації при проведенні порівнювальних випробувань сіялку комплектували серійними сошниками та сошниками з експериментальними полозами.

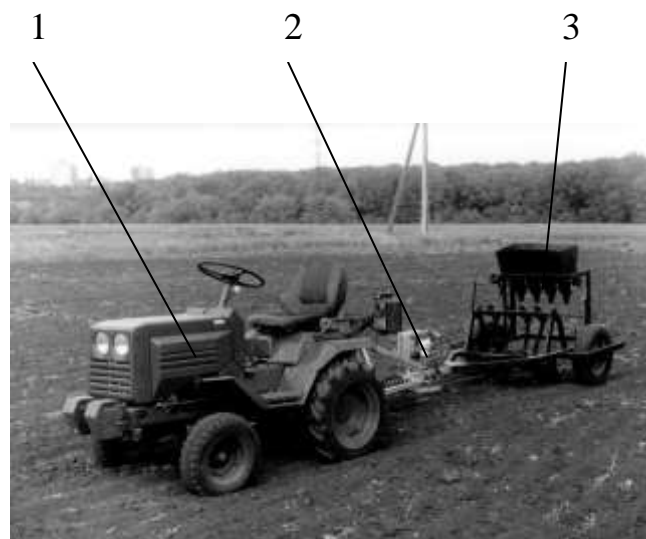


Рис. 3.18 Загальний вигляд посівного агрегату: 1-трактор Т-4; 2-пристрій для визначення тягового опору сошників; 3-макет зернової сіялки

Робоча швидкість посівного агрегату складала 1,72 м/с. Через кожні 10 год роботи, що відповідало 0,93 га напрацювання на кожний сошник вимірювали величину зносу в характерних зонах.

3.7. Обладнання та методика визначення енергетичних характеристик сошників

3.7.1. Пристрій для дослідження тягового опору

Основною енергетичною характеристикою ґрунторізальних робочих органів сільськогосподарських машин є їх тяговий опір. Для реєстрації тягового опору полозкових сошників в польових умовах використовували пристрій для дослідження параметрів функціонування робочих ґрунтообробних і посівних машин, розроблений колективом кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ [98]. Функціональна схема та загальний вигляд пристрою представлені на рис. 3.19 та 3.20.

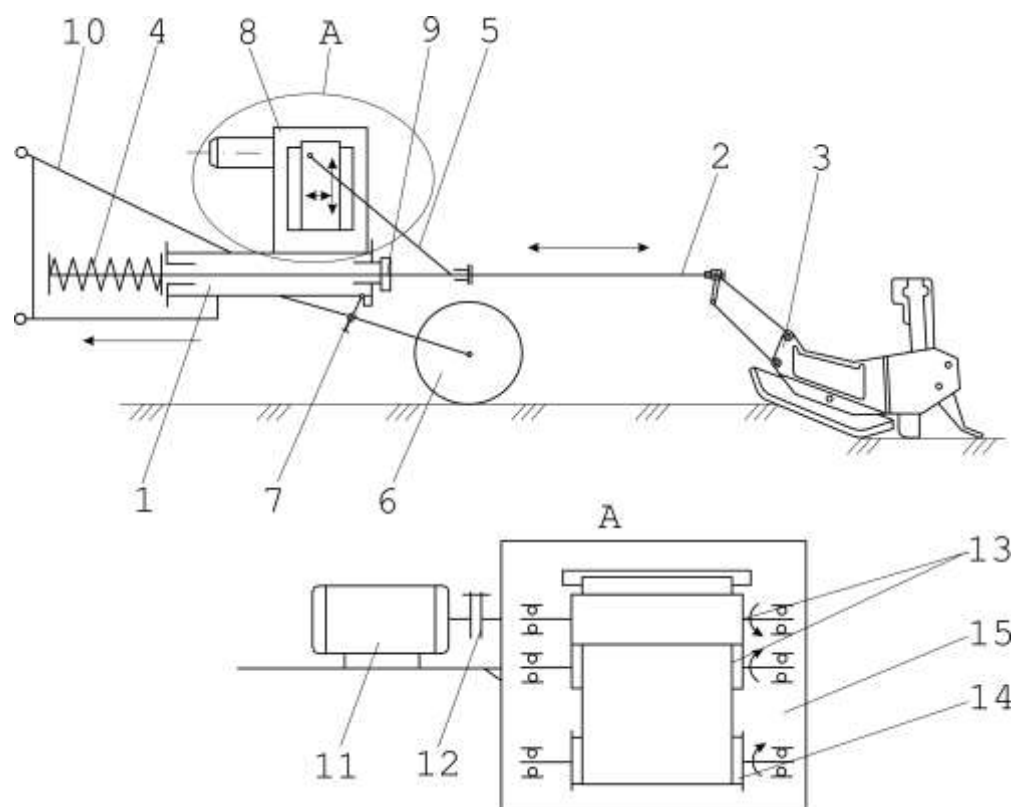


Рис. 3.19 Функціональна схема пристрою для визначення тягового опору полозкових сошників зернових сіялок

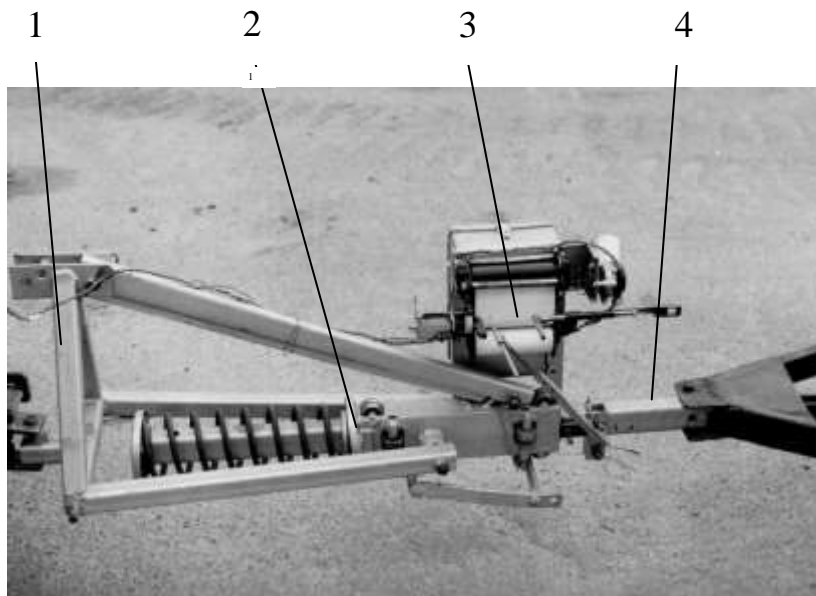


Рис. 3.20. Загальний вигляд пристрою для визначення тягового опору полозкових сошників: 1-начіпний пристрій; 2-корпус-натяжник; 3-записуючий механізм; 4-гряділь

Пристрій складається з корпусу-натяжника 1 (рис.3.19), через який, опираючись на підшипникові вузли, проходить гряділь 2. До гряділя за допомогою тримачів прикріплюється полозковий сошник 3. Переміщення гряділя в корпусі обмежується пружиною 4 і упором 5. До корпусу шарнірно прикріплені два опорні колеса 6 з механізмом регулювання 7 глибини ходу робочих органів в ґрунті, а також записуючий механізм 8.

Характер переміщення гряділя у горизонтальній площині передається до записуючого механізму через систему важелів 9. З'єднання даного пристрою з засобами агрегування здійснюється за допомогою начіпного пристрою 10.

Записуючий механізм 8 складається з електродвигуна 11, муфти 12, протяжного пристрою 13, котушки з папером 14 і ємності 15 для вкладання паперової стрічки 16 з записаною інформацією.

Під час руху в ґрунті сошник зазнає опору, який передається через гряділь на пружину, стискаючи її на відповідну величину. З метою отримання кількісних значень тягового опору сошників було проведено тарування силової пружини пристрою.

3.7.2. Методика визначення тягового опору сошників

Дослідження тягового опору полозкових сошників зернових сівалок проводили на полі, підготовленому під сівбу, у відповідності до агротехнічних вимог. Експеримент проводився в стислі строки, з метою запобігання змінам властивостей ґрунту в результаті зміни погодних умов. Головним фактором, що реєструвався при проведенні експерименту був тяговий опір полозкового сошника переміщенню в ґрунті.

Перед початком експерименту на полі розмітили дослідну ділянку згідно схеми представленої на рис. 3.21.

Вона складається з залікової ділянки l_z довжиною 30 м для запису відповідних параметрів на заданій швидкості, а також однієї п'ятиметрової ділянки l_p , необхідної для розгону і виведення його в заданий режим роботи і однієї п'ятиметрової ділянки l_v необхідної для виходу агрегату із залікової ділянки.

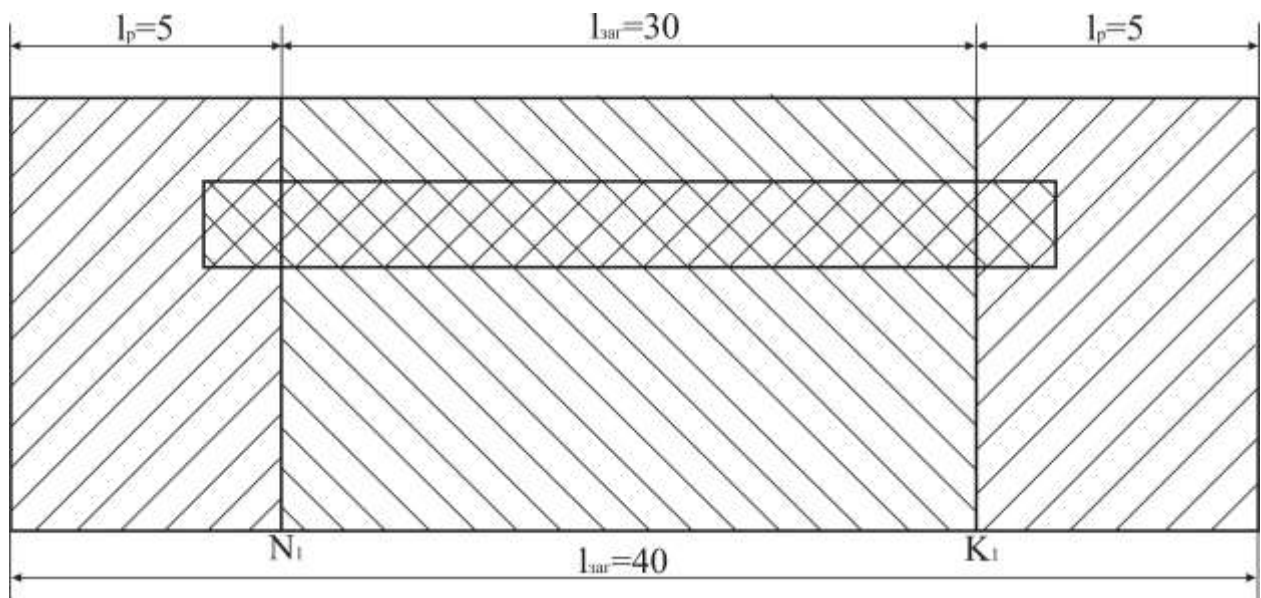


Рис.3.21 Схема розмітки дослідної ділянки

Визначення величини тягового опору полозкових сошників передбачає побудову діаграми тягового опору (рис. 3.22).

Отримана в результаті експерименту діаграма має нульову лінію 1 і силову криву 2 тягового опору. Графічне зображення зміни сили отримано в функції шляху.

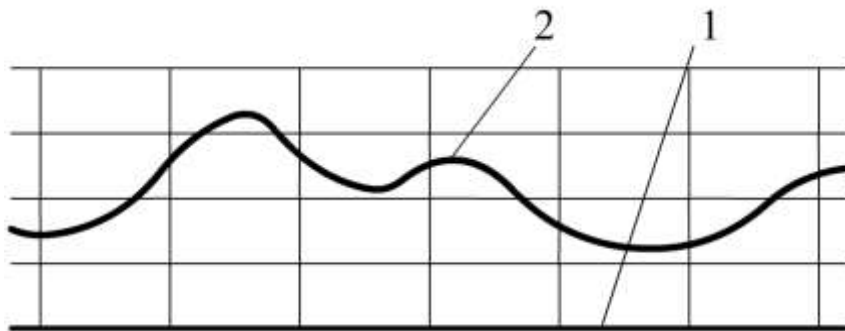


Рис. 3.22. Діаграма тягового опору полозкового сошника:

1 - нульова лінія; 2 - силова крива

Середнє зусилля \bar{P} визначали, як середню ординату кривої на даній ділянці, шляхом планометрування:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (3.3)$$

де P_i -тяговий опір на певній ділянці (1,n) діаграми визначали за виразом

$$P_i = l_i \cdot k \cdot g, \quad (3.4)$$

де l_i – довжина ординати ділянки діаграми;

k – коефіцієнт навантаження пружини;

g – прискорення вільного падіння.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Величина і характер зношування полозів стандартних сошників зернових сівалок

Дослідження проводили в господарствах Кіровоградської області зазначених в додатках Д, Е, Ж.

Оскільки в процесі абразивного зношування геометричні параметри полозу змінюються як по ширині, так і по товщині, то за критерій оцінки величини зносу взяли залежність масового зносу від напрацювання (рис. 4.1).

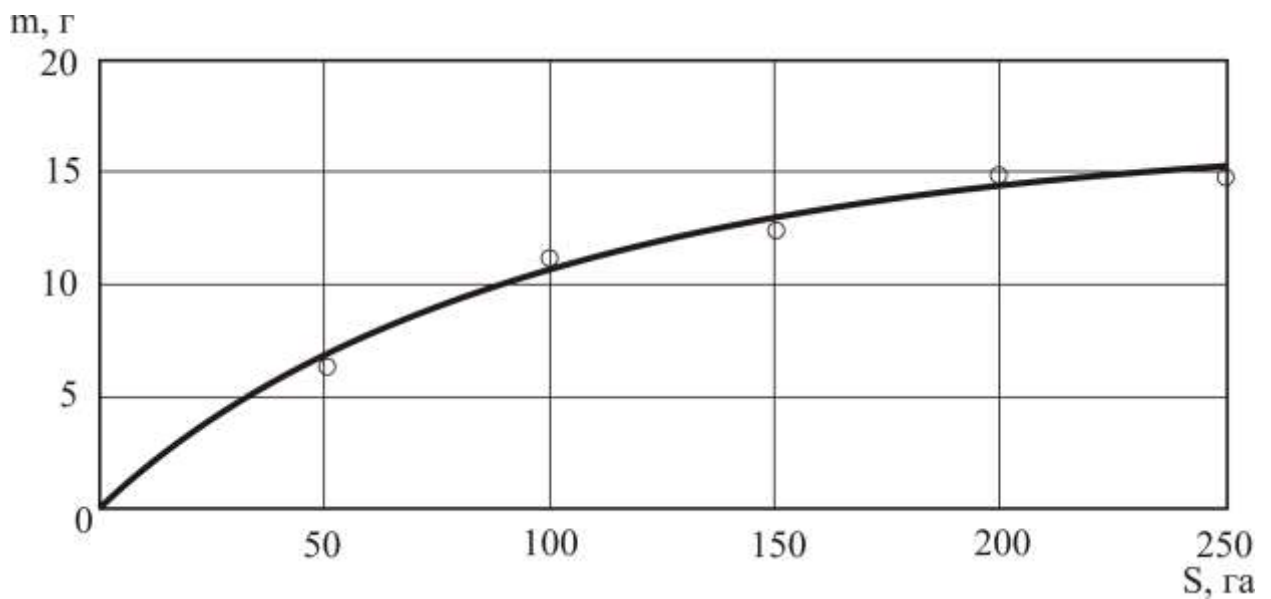


Рис. 4.1. Залежність масового зносу полозів стандартних сошників від напрацювання

Дослідження показують, що зі збільшенням напрацювання масовий знос полозу зростає, особливо це спостерігається протягом перших 25 га роботи.

Динаміку зміни характеру зношування стандартного полозу сошника можна пояснити з двох позицій. По-перше, - протіканням процесу припрацювання до набуття стабілізованого профілю; по-друге, - конструктивними параметрами стандартного полозу.

Згідно конструкторської документації під час виготовлення лезо полозу загострюється. Кут загострення складає 20° . Це свідчить про те, що приблизно на глибину до 12 мм знімається шар металу. Процес стабілізації профілю, як

результат зносу леза безпосередньо залежить від попереднього загострення. Виявлено також, що загострення леза полозу негативно впливає на його ресурс.

Результати спостереження за характером зміни контуру леза полозу (рис. 4.2.), згідно методики наведеної в п. 3.5.2., свідчать, що з напрацюванням чітко виявляються три зони зношування.

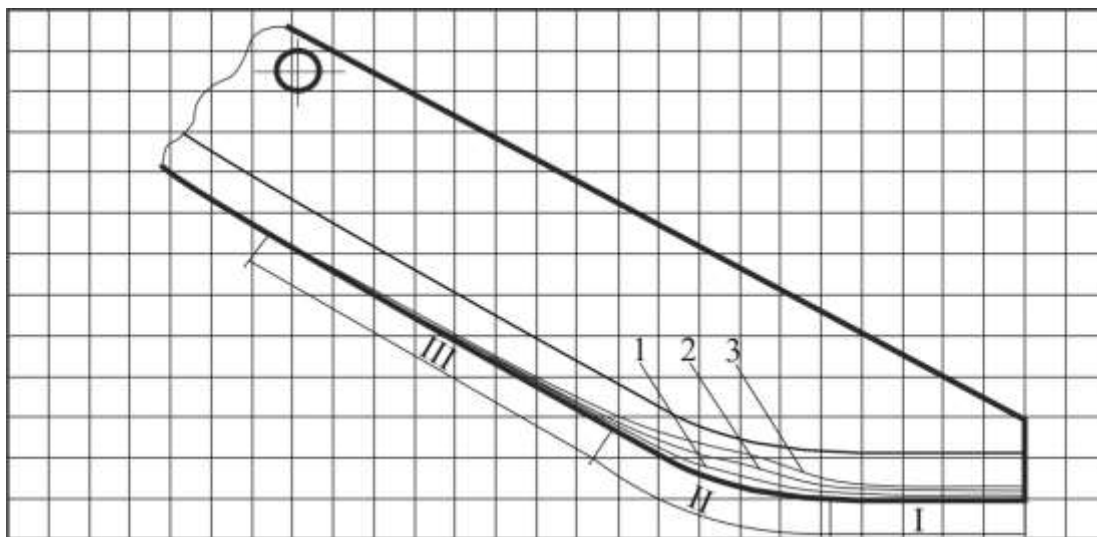


Рис. 4.2. Зміна контуру загостреного полозу в процесі роботи при напрацюванні: 1- S_1 ; 2- S_2 ; 3- S_3 ; де $S_1 < S_2 < S_3$

Зміна величини лінійного зносу леза в цих зонах різна (рис. 4.3).

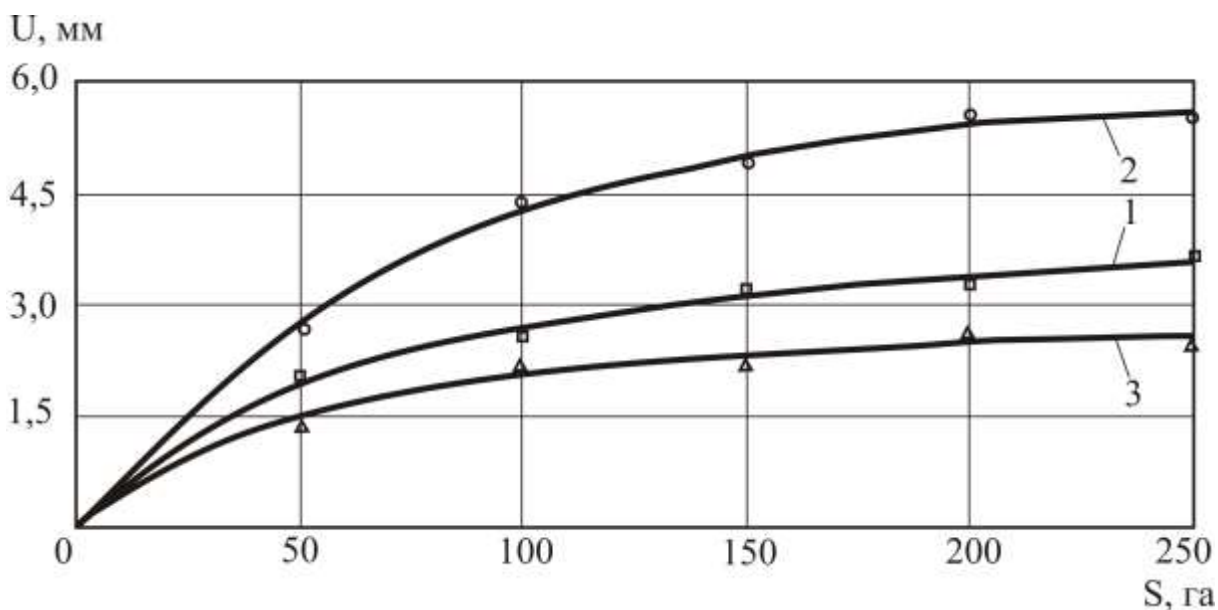
















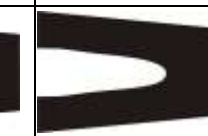
Рис. 4.3. Залежність лінійного зносу полозів стандартних сошників в характерних зонах від напрацювання: 1 – I зона; 2 – II зона; 3 – III зона

Найбільшому зносу піддається перехідна зона (зона II). Основна небезпека зношування в даній зоні полягає в тому, що знос відбувається в “тіло” полозу з утворенням заглибини. Тут можливе набивання рослинних решток, що викликатиме зростання тягового опору сошника та його виглиблення з ґрунту. Менш інтенсивно зношується лезо в першій зоні (зоні ложеутворення) через більш низьке силове навантаження. Наслідком зношування є затуплення леза, а як результат – зменшення глибини загортання насіння. Найменшому зносу лезо піддається в третій зоні через найнижче силове навантаження завдяки тому, що кут його нахилу леза близький до кута тертя ґрунту об метал.

Одночасно, згідно методики наведеної в п. 3.3.2, контролювалась динаміка зміни профілів лез від напрацювання (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Динаміка зміни профілів лез стандартних полозів для зон в залежності від напрацювання

Зона онтролю	Напрацювання, га				
	5	10	15	20	25
I зона					
II зона					
III зона					

Видно, що з напрацюванням змінюється початкова геометрична форма леза. Більш інтенсивно цей процес протікає для другої зони. Практично при напрацюванні 25 га спостерігається процес затуплення і форма профілю леза в

даній зоні стабілізується. Подібний процес для першої та третьої зон протікає повільніше і момент стабілізації профілю леза настає пізніше.

Аналіз роботи загостреного леза показав, що позитивний вплив загострення на якість загортання насіння має місце лише при напрацюванні до 10...15 га. Надалі лезо округляється та втрачає свої експлуатаційні властивості і потребує загострення, що не завжди можливо за умов господарства. Проте, подальші переагострення призведуть лише до скорочення ресурсу полозу.

Виявлено, що величина і характер зносу леза полозу негативно впливає на процес борозноутворення та енергетичні характеристики сошника. Приведені результати цілком підтверджуються теоретичними дослідженнями, зазначеними в п. 3.1.

Очевидною є необхідність у зміцненні робочої поверхні леза полозу сошника з метою збереження наданої початкової його форми або створення умов для забезпечення процесу самоагострювання.

4.2. Величина і характер зношування незагострених полозів сошників

Дані дослідження проводили за тих же умов, що і попередні. На відміну від загострених незагострені полози на початку експлуатації мають дещо більший масовий знос та швидкість його зміни через “крайовий” ефект (рис.4.4).

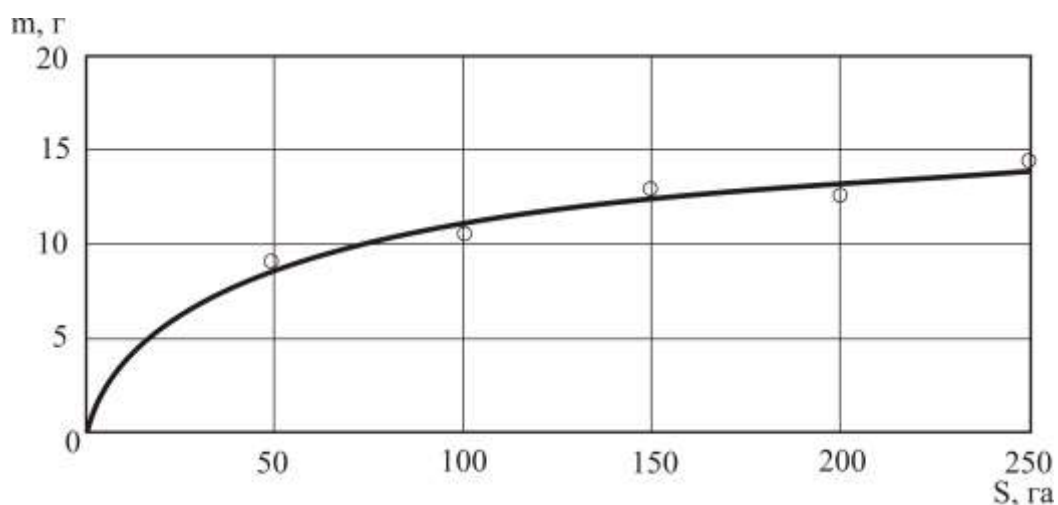


Рис. 4.4. Залежність масового зносу полозів сошників від напрацювання

В подальшому темпи наростання зносу уповільнюються і стабілізуються на значеннях, нижчих ніж у загострених полозів.

Для полозів з незагостреним лезом також характерним є утворення трьох зон зношування (рис. 4.5).

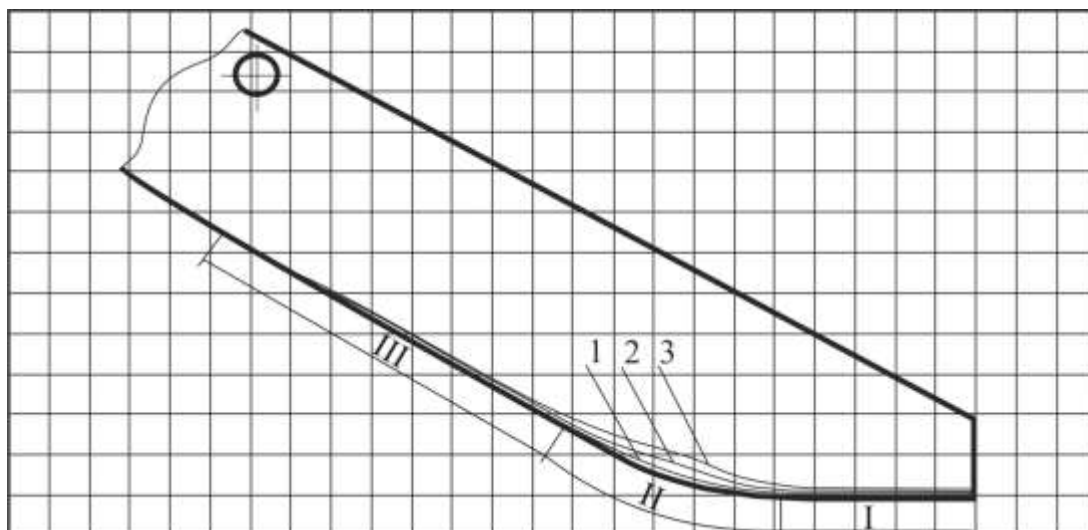


Рис. 4.5. Зміна контуру незагостреного полозу в процесі роботи при напрацюванні: 1- S_1 ; 2- S_2 ; 3- S_3 ; де $S_1 < S_2 < S_3$

Характер зміни лінійного зносу в відповідних зонах від напрацювання (рис. 4.6) подібний до відповідних залежностей для загострених полозів (рис. 4.3), але їх абсолютні значення нижчі.

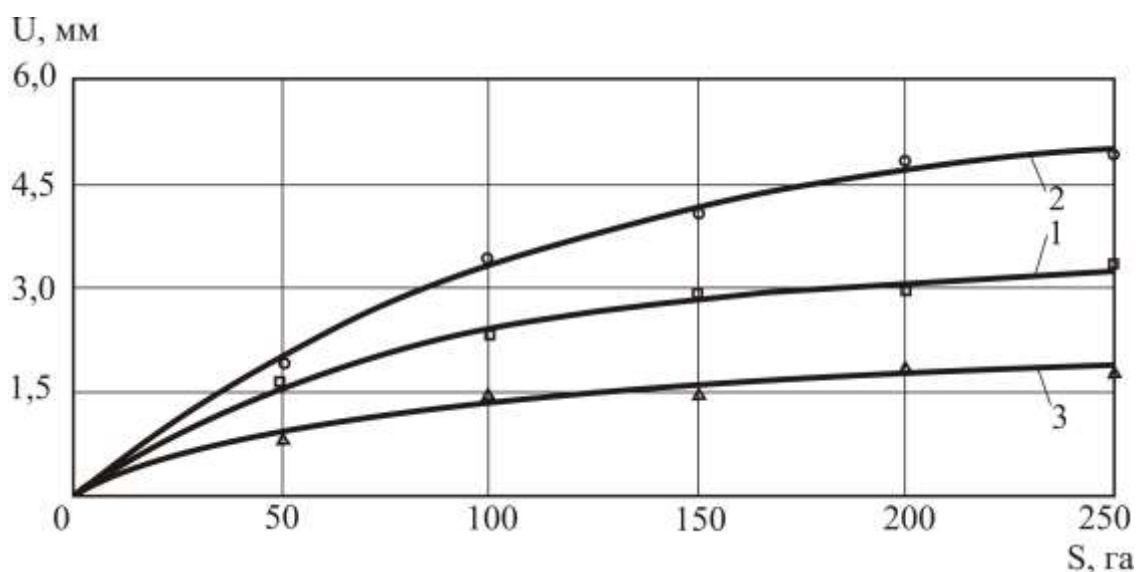

















Рис. 4.6. Залежність лінійного зносу незагострених полозів сошників в характерних зонах від напрацювання: 1 – I зона; 2 – II зона; 3 – III зона

Процес зміни профілю незагостреного леза полозів в початковій фазі характеризується округленням кромки (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Динаміка зміни профілів незагострених лез полозів в залежності від напрацювання

Зона контролю	Напрацювання, га				
	5	10	15	20	25
I зона					
II зона					
III зона					

Найбільш інтенсивно, як і в попередньому випадку знос відбувається в другій зоні контролю.

В ній лезо набуває параболічної форми з поступовим зменшенням кута при вершині параболі. При напрацюванні близько 20...25 га профіль леза стабілізується і в подальшому практично не змінюється.

Таким чином, попередньо загострені в виробничих умовах та незагострені леза полозів набувають стабілізованого профілю практично за однакового напрацювання, але перші піддаються більшому лінійному зносу ніж другі.

Як і у випадку з загостреним лезом в першій та третій зонах контролю через менше силове навантаження процес зношування та формування стабілізованого профілю протікає повільніше.

Очевидно, що попереднє загострення леза полозу має позитивний вплив на якість загортання насіння та енергетичні показники лише на початковій стадії роботи. Надалі воно інтенсивно зношується, швидко затуплюється і при напрацюванні близько 20...25 га його профіль стабілізується погіршуючи якість виконання технологічного процесу сівби. Дослідження показують, що незагострене лезо полозу має менший лінійний знос, а при аналогічному напрацюванні стабілізується з подібними параметрами що й попередньо загострене лезо.

Таким чином, результатами досліджень виявлено, що попереднє загострення, а також наступні переагострення леза в виробничих умовах викликає лише штучну втрату металу полозу без забезпечення довгострокового збереження його гостроти. Очевидною є необхідність відмови від загострення леза і зосередження уваги на створенні умов для його самоагострювання шляхом зміцнення. Аналіз способів зміцнення лез полозів сошників ґрунтообробних та посівних машин свідчить, що найбільш прийнятним для реалізації процесу самоагострення є контактне наварювання попередньо сформованих композиційних кераміко-металевих стрічок.

В зв'язку з цим, необхідно провести дослідження структури і властивостей композиційних кераміко-металевих стрічок з метою вибору найбільш сприятливих для отримання для отримання зміцнених шарів.

4.3. Структура та склад композиційних кераміко-металевих стрічок

Дослідження морфології та мікроструктури поверхонь композиційних стрічок обох складів $\text{Fe-Cr-Ni-Cr}_3\text{C}_2$ та Fe-Cr-Ni-TiC показують, що компоненти стрічок практично рівномірно розподілені по структурі (рис. 4.7 та 4.8). Спостерігається висока дифузійна активність нікелю при спіканні, що очевидно, пояснюється його ультрадисперсною структурою, яка характеризується значною кількістю активних центрів (надлишкових вакансій).



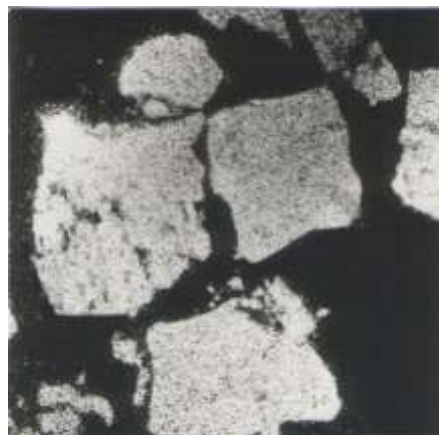
а



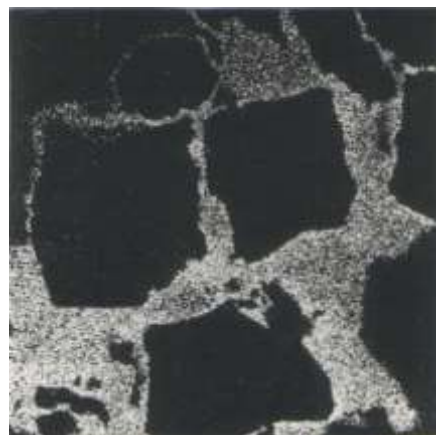
б



в



г



д

Рис. 4.7. Морфологія (а – $\times 200$), мікроструктура (б – $\times 200$) та розподіл основних елементів (в – Fe, г – Cr, д – Ni) в композиційній стрічці складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂



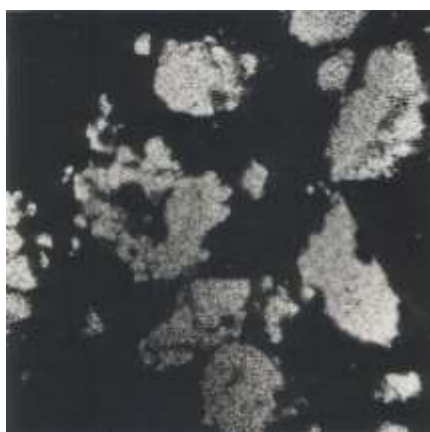
а



б



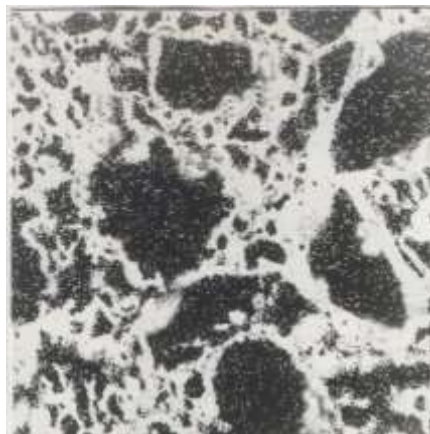
в



г



д



е

Рис. 4.8. Морфологія (а – х200), мікроструктура (б – х200) та розподіл основних елементів (в – Fe, г – Ti, д – Cr, е – Ni) в композиційній стрічці складу Fe-Cr-Ni-TiC

Під час взаємодії плакуючого шару з компонентами стрічки виникає реактивна дифузія, яка супроводжується утворенням нових фаз: інтерметалідів та твердих розчинів. Даний процес є специфічним для композиційних порошків, отриманих гідрометалургійним методом [60]. Хром і залізо завдяки звичайній структурі не встигають під час спікання стрічки розподілитись в матеріалі більш рівномірно.

4.4. Властивості поверхневих шарів композиційних покриттів

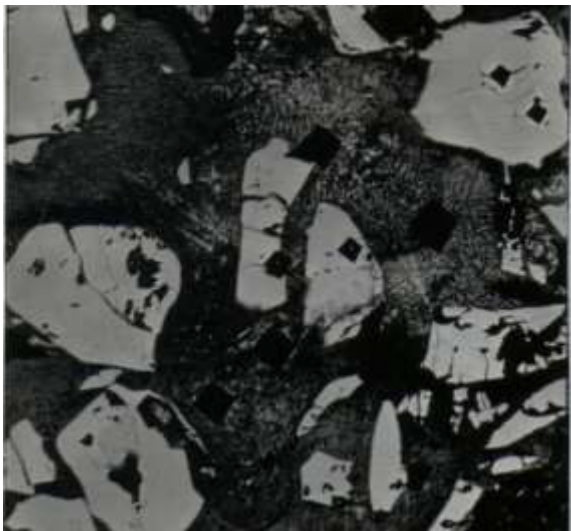
Результати дослідження комплексу режимів контактного наварювання композиційних кераміко-металевих стрічок на робочі поверхні зразків та полозів сошників, показали, оптимальними параметрами цього технологічного процесу є наступні: $I=8$ кА; тривалість зварювальних імпульсів – $t=0,06$ с; тиск на електродах – $P=70$ МПа; швидкість наварювання – $V_H=0,012$ м/с. Під час наварювання кераміко-металева стрічка усаджується по товщині приблизно на 40%. В результаті утворюється композиційне покриття товщиною $0,6 \cdot 10^{-3}$ м, що відповідає умовам самозагострювання [37,38].

4.4.1. Мікроструктура

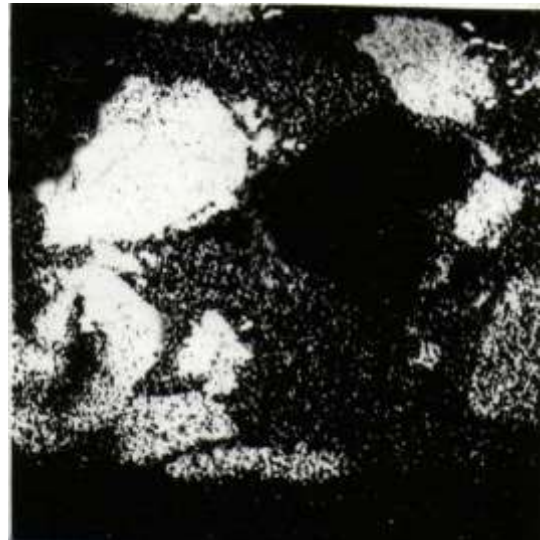
Вплив мікроструктури на властивості композиційних кераміко-металевих покриттів очевидний з точки зору об'ємного розподілу фаз, форми і розмірів компонентів покриття та структури матриці (рис. 4.9 та 4.10).

Можна бачити, що дисперсні частинки карбідів досить рівномірно розподілені в матриці, крім того їх подрібнення в процесі наварювання композиційних покриттів практично не спостерігається.

Це пояснюється правильним вибором параметрів режиму наварювання, незначною термічною дією на композиційний матеріал кераміко-металевих стрічок, що наварюються, термомеханічною сумісністю фаз в покритті, правильністю вибору розміру наповнювача, а також тим, що компоненти композиційного матеріалу плаковані нікелем.



а



б



в



г

Рис. 4.9. Мікроструктура наварених композиційних покриттів складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂: а – $\times 200$ – світлова мікроскопія; б, в, г – скануюча мікроскопія $\times 200$, розподіл елементів: б – Fe; в – Cr; г – Ni

Матриця стрічки, як і передбачалось в теоретичному обґрунтуванні, має аустенітно-мартенситну та трооститно-мартенситну мікроструктуру. Гранична зона між керамічним наповнювачем та матрицею виглядає дещо розмитою, що вказує на протікання процесу міжфазної взаємодії в стрічці та деякою розчинністю карбідів в металах матриці і дифузійними процесами, які протікають в матеріалі. При цьому карбід хрому більш активно ніж карбід

титану взаємодіє з матрицею, що пояснюється його більшою розчинністю в металах групи заліза.

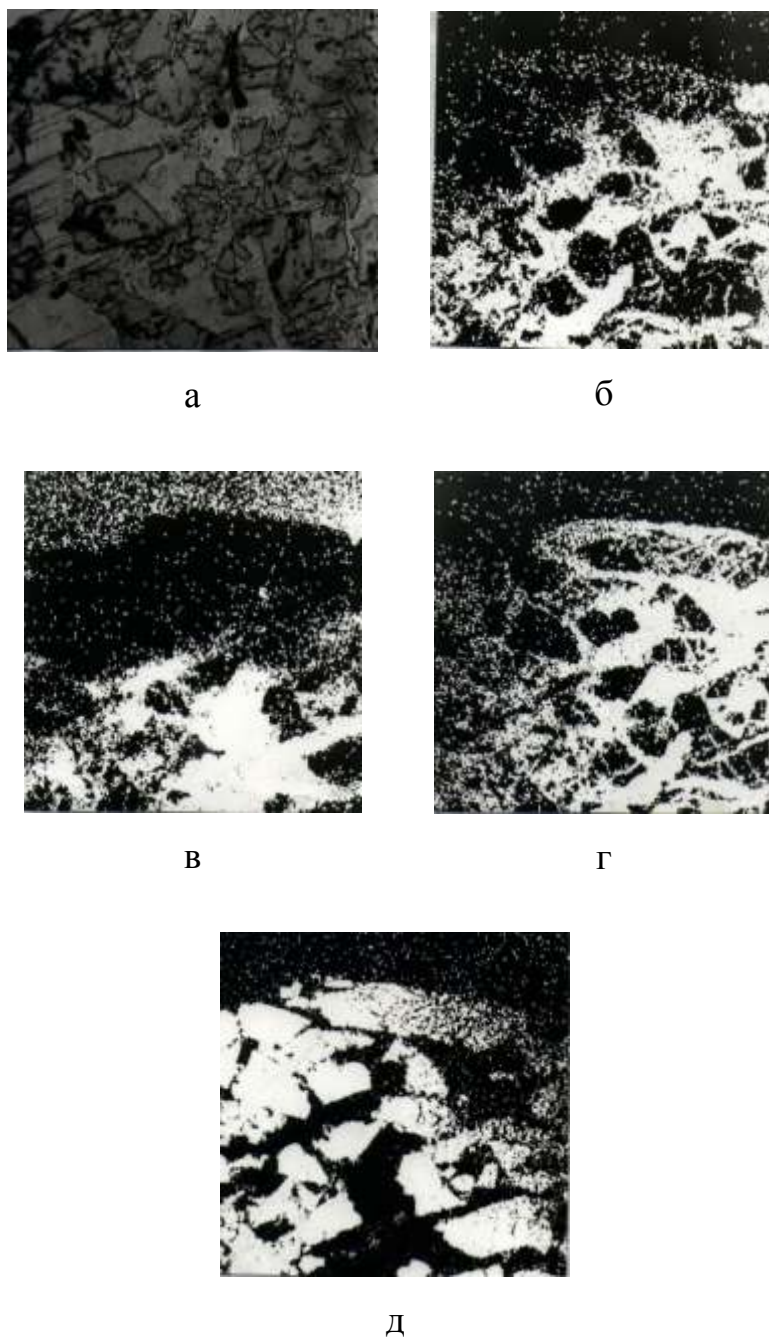


Рис. 4.10. Мікроструктура наварених композиційних покриттів складу Fe-Cr-Ni-TiC: а – $\times 200$ – світлова мікроскопія; б, в, г, д – скануюча мікроскопія $\times 200$, розподіл елементів: б – Fe; в – Cr; г – Ni, д – Ti

Концентрація компонентів матриці для обох складів приблизно однакова (табл. 4.3) і лежить в межах проектних значень, що підтверджує правильність вибору способу отримання композиційного матеріалу.

Результати рентгеноспектрального аналізу матриці
композиційного матеріалу

Склад КП	Концентрація елементів в матриці, мас. %			
	Залізо	Хром	Нікель	Титан
Fe-Cr-Ni- Cr ₃ C ₂	$\frac{52,2...73,4}{59,2}$	$\frac{10,3...37,6}{23,5}$	$\frac{0,2...16,6}{8,3}$	-
Fe-Cr-Ni-TiC	$\frac{62,5...77,0}{68,0}$	$\frac{7,2...20,4}{12,13}$	$\frac{3,3...27,1}{9,5}$	$\frac{0,3...3,7}{1,2}$

Примітка: в чисельнику – межі концентрацій; в знаменнику – середнє значення по 20 - ти точках аналізу.

Лише концентрація хрому в незначній мірі виходить за межі проектної величини. Для першого складу вона дещо більша, що пояснюється додатковим насиченням матриці хромом в результаті розчинення певної кількості карбіду хрому, а для другого – дещо менша, в силу того, що будучи гарним карбідоутворюючим елементом, хром утворює в матриці нові дрібні карбіди, вступаючи в реакцію з вуглецем, що вивільнився в результаті розчинення в матеріалах матриці (залізо, нікель) карбіду титану, та вуглецем, введеним в матрицю разом з залізним порошком (ПЖ-Б5).

Рентгенографічні дослідження показали, що зміни субструктури подібні змінам, що мають місце при загартуванні.

Електронно-мікроскопічний аналіз показав, що в найбільш зміцненій області покриття спостерігається значна щільність дрібних дислокаційних петель, що свідчить про інтенсивні процеси деформування структури при такому складі.

Також спостерігаються поодинокі дислокації та їх сплетіння, які свідчать про взаємодію дислокацій, а в матеріалі матриці композиційних покриттів виникає комірчаста дислокаційна структура зі щільністю дислокацій на межах комірок до $10^{14}... 10^{15} \text{ м}^{-2}$. Подібна структура характерна для сильно деформованих металів.

Підвищення щільності дислокацій пов'язане з появою термічних напружень, які в свою чергу обумовлені відмінністю питомих об'ємів і коефіцієнтів лінійного розширення одночасно існуючих фаз [13,54].

4.4.2. Мікротвердість

Відомо [13,148], що мікротвердість композиційних матеріалів, є визначальною для забезпечення зносостійкості деталей. Особливо це стосується різальних елементів робочих органів, що працюють в абразивному середовищі.

Під час вимірювання мікротвердості кераміко-металевих композиційних покриттів брали до уваги те, що поверхневі шари мають гетерогенну структуру, яка передбачає, як мінімум три зони твердості: твердість керамічного наповнювача (Cr_3C_2 , TiC), твердість матриці, яка являє собою продукт взаємодії трьох компонентів (залізо, нікель, хром) і твердість проміжних з'єднань, які виникають в результаті міжфазної взаємодії.

Для більшої наочності результатів вимірювань розподілу середньої мікротвердості по поверхні покриття при концентрації наповнювача 30%, отриману інформацію представлено у вигляді гістограм (рис. 4.11 та 4.12) які відображають відношення кількості відбитків відповідної мікротвердості до загальної кількості відбитків у відсотках.

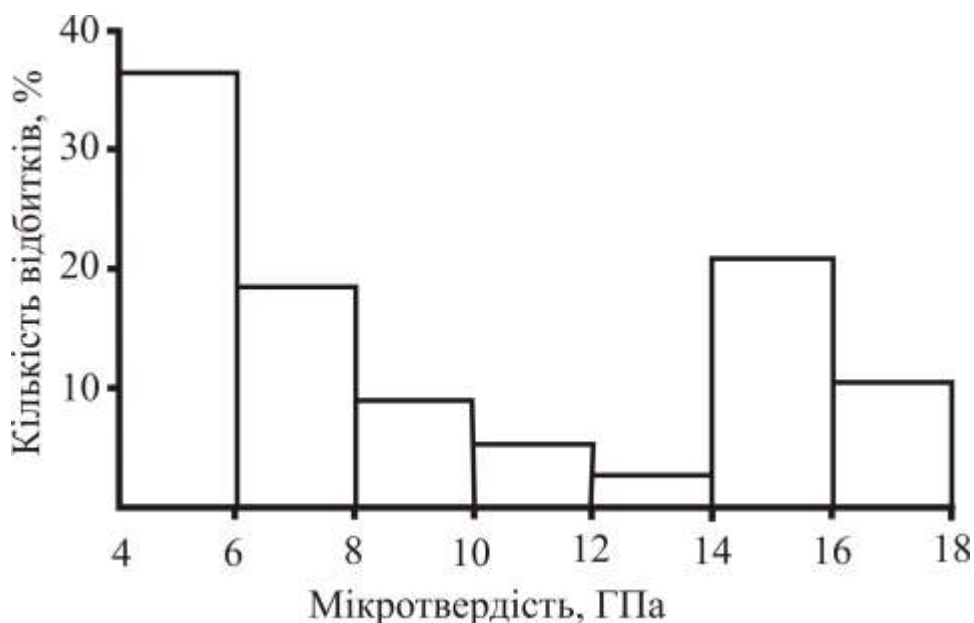


Рис. 4.11. Мікротвердість поверхневих шарів композиційного покриття складу Fe-Cr-Ni- Cr_3C_2

Аналіз отриманих результатів дає можливість твердити, що мікротвердість матриці знаходиться в проектних межах і буде забезпечувати працездатність композиційного покриття в умовах абразивного зношування.

Для композиційного покриття армованого карбідом хрому біля 60% матриці має мікротвердість від 6 до 8 ГПа, що свідчить про наявність в ній загартованих структур, а також продуктів взаємодії хрому матриці з вуглецем залізного порошку. Наявність в матриці мікротвердості від 10 до 14 ГПа, в основному на границі фаз, свідчить про утворення продуктів взаємодії компонентів матриці і карбіду хрому в результаті його часткового розчинення та дифундування вуглецю в матеріал матриці. Мікротвердість матриці менше 4 ГПа зустрічається надзвичайно рідко – до 4%.

Розподіл мікротвердостей в поверхневому шарі кераміко-металевого композиційного покриття, армованого карбідом титану надзвичайно диференційований, через наявність незначної кількості продуктів взаємодії компонентів.

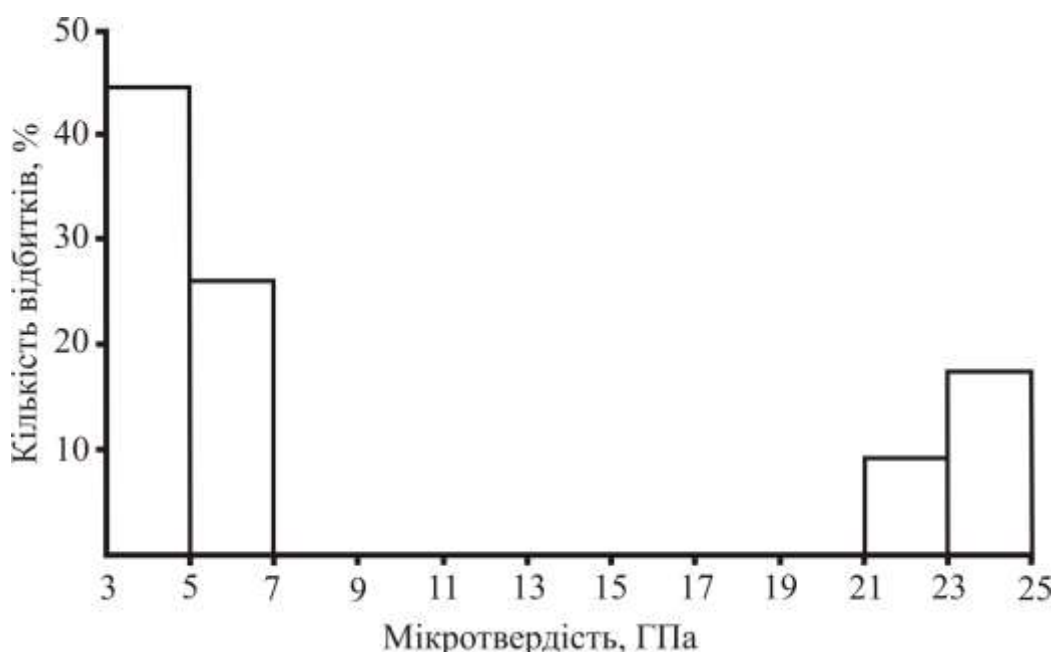


Рис. 4.12. Мікротвердість поверхневих шарів композиційного покриття складу Fe-Cr-Ni-TiC

Дане явище можна пояснити досить низькою розчинністю карбіду титану в компонентах матриці. Мікротвердість матриці від 3,0 до 7,0 ГПа знаходиться в межах дещо нижчих від проектних значень.

Певну зацікавленість викликає розподіл мікротвердості матриці в залежності від вмісту наповнювача в композиційному покритті (табл. 4.4) для підтвердження правильності призначення його кількості.

Середня мікротвердість матриці композиційного покриття складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂, що містить 30% наповнювача зростає до максимуму, очевидно, за рахунок додаткового розчинення карбідів хрому і насичення матриці вуглецем та хромом з наступним утворенням продуктів взаємодії. Подальше підвищення об'єму наповнювача сприяє збільшенню пористості, і як наслідок, зниженню мікротвердості.

Таблиця 4.4

Залежність середньої мікротвердості матриці від вмісту наповнювача

Склад композиційного покриття	Середня мікротвердість матриці, МПа				
	Вміст наповнювача, %				
	10	20	30	40	50
Fe-Cr-Ni-Cr ₃ C ₂	4610	5670	6560	6220	5800
Fe-Cr-Ni-TiC	4590	4890	4940	4590	4280

Середня мікротвердість матриці композиційного покриття складу Fe-Cr-Ni-TiC практично лінійно спадає від значення що має 20 % об'ємного вмісту наповнювача, до значень його максимального вмісту. Зниження мікротвердості, на наш погляд, пояснюється процесом, аналогічним першому випадку – збільшенням пористості, а відсутність її наростання - дуже низькою розчинністю карбиду титану в матриці.

4.4.3. Пористість

Пористість має значний вплив на забезпечення зносостійкості, та інших фізико-механічних властивостей порошкових матеріалів, в тому числі і композиційних матеріалів. Дослідження зносостійкості порошкових матеріалів свідчить, що будь-яка пористість в матеріалі знижує його зносостійкість [13,71].

Пористість, що перевищує 5%, зменшує зносостійкість порошкового матеріалу на 5...20%. При подальшому її збільшенні, до 20...25%, спостерігається зниження темпу зменшення зносостійкості, а далі спостерігається різке зменшення опору матеріалу абразивному зносу. Опір матеріалу руйнуванню в мікрооб'ємах змінюється незначно, тоді, як в макрооб'ємах має місце викришування твердого наповнювача за рахунок зменшення площі його контакту з матрицею. Як показують результати досліджень в даній роботі (рис. 4.13) пористість в основному визначається видом і концентрацією керамічного наповнювача.

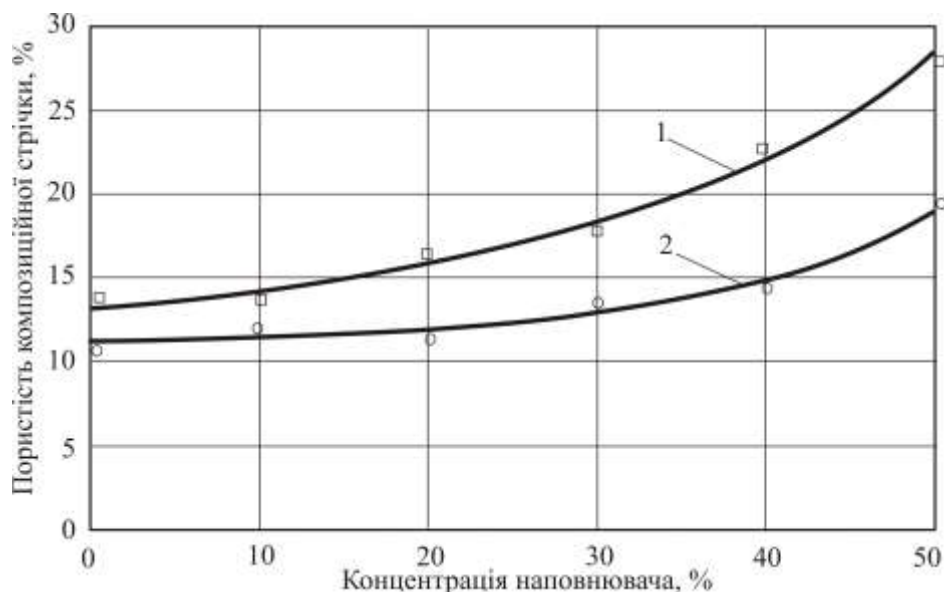


Рис. 4.13. Залежність пористості композиційного покриття від концентрації наповнювача: 1 – TiC ; 2 – Cr₃C₂

Встановлено, що збільшення об'ємного вмісту в стрічці призводить до зростання пористості покриття, особливо інтенсивно це проявляється при концентрації наповнювача більшої 30%. Композиційні покриття з наповнювачем Cr₃C₂ мають дещо більшу щільність ніж покриття, які містять наповнювач TiC. Це можна пояснити відносною близькістю термомеханічних властивостей компонентів матриці та карбіду хрому і значно більшою його розчинністю в компонентах матриці в порівнянні з карбідом титану.

4.4.4. Внутрішні напруження

Визначення внутрішніх напружень в зміцнених лезах полозів та дослідження напруженого стану лез стандартних та зміцнених полозів при їх

взаємодії з абразивним середовищем виконували згідно методики викладеної в п. 3.4.4.

Формування внутрішніх напружень в композиційному матеріалі значно відрізняється від їх формування в традиційних матеріалах в силу гетерогенності композицій. Їх знак і величина визначається рядом факторів: складом композиції, відмінністю коефіцієнтів термічного розширення компонентів композиції і матеріалу основи, рівнем міжфазної взаємодії компонентів покриття та режимами приварювання стрічки.

З представлених розподілів напружень по глибині зміцненого шару (рис. 4.14) видно, що в приповерхневих шарах покриттів обох складів домінують переважно внутрішні напруження стиску.

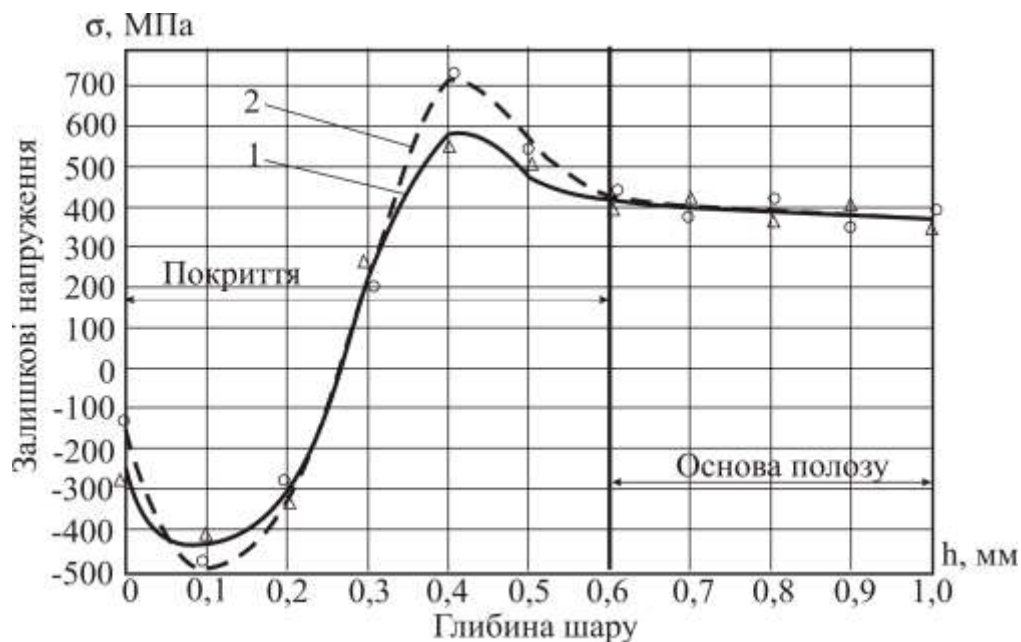


Рис. 4.14. Розподіл залишкових напружень в композиційному покритті складів:
1 - Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂; - Fe-Cr-Ni-TiC за глибиною з концентрацією наповнювача в стрічці 30%

Це можна обґрунтувати тим, що, по-перше, коефіцієнт термічного розширення карбідних фаз менший коефіцієнту термічного розширення матриці, що сприяє виникненню напружень стиску, і, по-друге, позитивною дією деформації стрічок з періодичною проковкою (у відповідності з режимом наварювання) з боку роликів електродів зварювальної машини.

Внутрішні напруження стрічок складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ дещо нижчі за внутрішні напруження стрічок складу Fe-Cr-Ni-TiC. Це пояснюється тим, що величина коефіцієнта термічного розширення карбіду хрому більша ніж карбіду титану, а структурні особливості композиції складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ мають більш однорідну структуру завдяки високій міжфазній взаємодії її компонентів, а також дещо меншу пористість, що в значній мірі сприяє релаксації внутрішніх напружень і зниженню їх величини.

В процесі взаємодії різальної кромки леза полозу сошника з абразивним середовищем, на ній виникають стискаючі напруження різних величин, які змінюються відповідно до висоти леза.

Аналіз і розрахунок поля напружень лез полозів в процесі взаємодії їх з абразивним технологічним середовищем, проведений і методом кінцевих елементів за допомогою пакету COSMOSWorks інтегрованого в CAD-систему SolidWorks, згідно методики, наведеної в п. 3.4.4.

Можна бачити, що максимальний рівень напружень леза полозу стандартного сошника (рис.4.15) зосереджено у вузькій області різальної кромки. По мірі віддалення від цієї області величина напруження спадає. Зауважимо, що при мінімальному радіусі заокруглення різальної кромки область напруженого матеріалу достатньо невелика. Останнє можна пояснити характером взаємодії різального елемента з ґрунтом: максимальне зусилля взаємодії леза полозу з ґрунтом

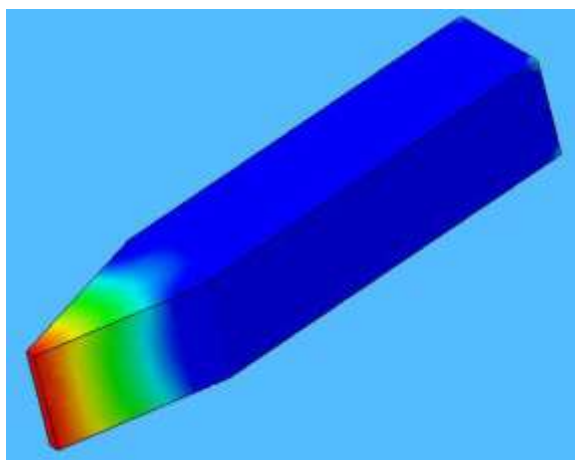


Рис. 4.15. Розподіл поля напружень леза полозу стандартного сошника після взаємодії з абразивним середовищем

зосереджено саме на різальній кромці, йде розрізання шару ґрунту, яке вимагає високих енергетичних затрат, а далі розкришений потік ґрунту огинає робочу поверхню леза полозу.

У випадку незагостреного леза полозу в процесі його взаємодії з абразивним середовищем напружено-деформований стан має дещо інший характер (рис. 4.16).

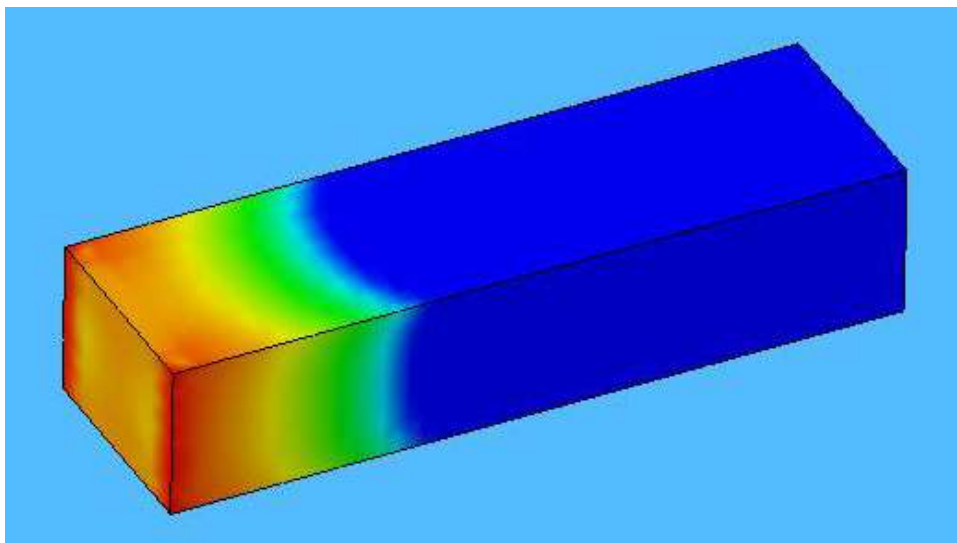


Рис. 4.16. Розподіл поля напружень при незагостреному лезі полозу після взаємодії з абразивним середовищем

Радіус заокруглення різальної кромки більший ніж у загостреного полозу, що обумовлює збільшення області максимальних напружень. При цьому характерним є те, що перед затупленою різальною кромкою ущільнюється абразивне технологічне середовище, що вимагає додаткових енергетичних витрат на переміщення полозу і розрізання ґрунту. Крім цього, як показують дослідження, область напруженого матеріалу суттєво збільшується.

В процесі переміщення леза полозу з привареною композиційною стрічкою в абразивному середовищі відбувається перерозподіл поля напружень у бік незміцненого матеріалу (рис.4.17).

При початковій взаємодії леза полозу сошника з привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою з ґрунтом спостерігається порівняно великий радіус заокруглення різальної кромки. Але при подальшій взаємодії з

бразивним середовищем цей радіус зменшується та починає проявлятися ефект самозагострювання.

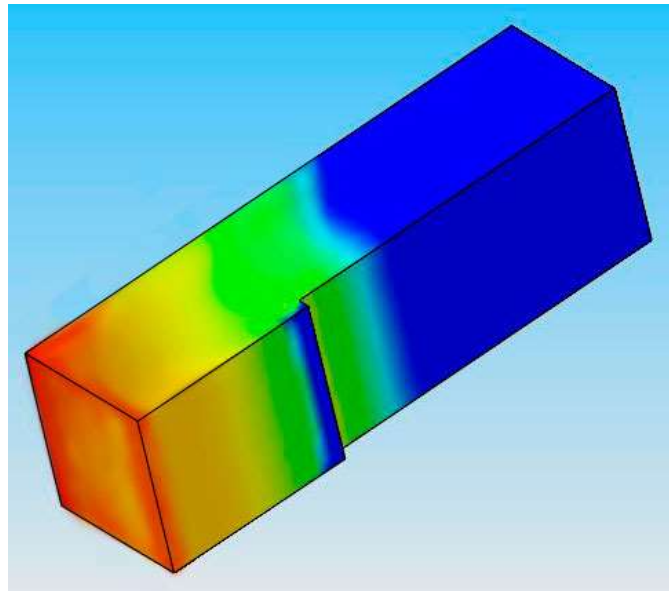


Рис. 4.17. Напружений стан леза полозу сошника з привареною композиційною стрічкою після початкової взаємодії з абразивним середовищем

Видно, що при тривалій взаємодії з ґрунтом лез полозів з привареною композиційною стрічкою спостерігаються випадки невеликої області напруженого стану матеріалу з малим радіусом заокруглення різальної кромки. Максимальні напруження при цьому зосереджені саме в області різальної кромки (рис. 4.18).

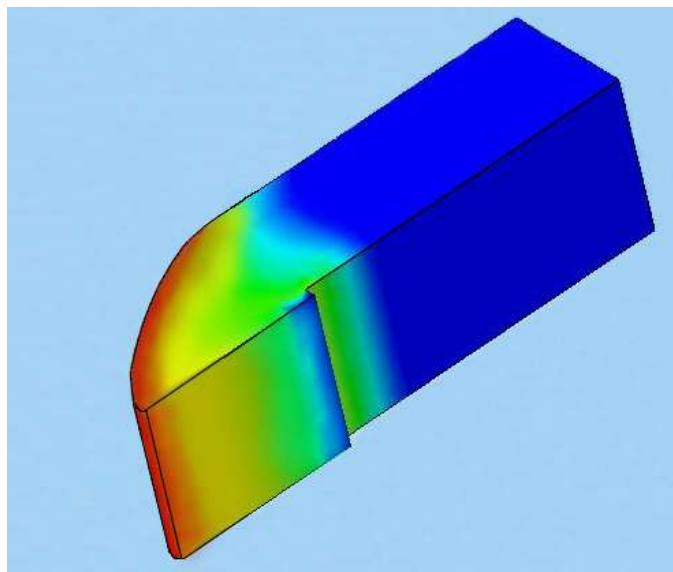


Рис. 4.18. Напружений стан леза полозу сошника з привареною композиційною стрічкою після довготривалої взаємодії з абразивним середовищем

Наявність саме такого напруженого стану обумовлює виникнення і розвиток процесу самозагострювання лез полозів сошників зернових сівалок.

Таким чином, виявлений розподіл напружень на лезах полозів свідчить про те, що ним можна керувати, використавши технологію приварювання композиційної стрічки, й створити сприятливі умови для зменшення абразивного зношування та виникнення ефекту самозагострювання в процесі експлуатації.

4.5. Величина та характер зношування зміцнених лабораторних зразків

Дослідження характеру і величини зношування зразків різної конструкції подібних до полозів полозкових сошників проводили на лабораторному стенді за методикою наведеною в п. 3.3.1.

На рівень зносостійкості композиційних матеріалів впливає ряд факторів, основними з яких є твердість матриці та керамічного наповнювача, пористість, об'ємний вміст та розмір керамічного наповнювача з одного боку, та фізико-механічні властивості і гранулометричний склад абразивних частинок ґрунту з іншого.

Дослідження величини зносу зразків свідчать про істотний вплив об'ємного вмісту наповнювача в композиційному покритті, сформованого приварюванням до них кераміко-металевих композиційних стрічок.

Наведена залежність величини зносу зразків з покриттями двох складів від об'ємного вмісту керамічного наповнювача після 100 годин випробувань на лабораторному стенді (рис. 4.19) свідчить про те, що при збільшенні вмісту керамічного наповнювача в композиційній стрічці більше 30% спостерігається підвищення величини зносу зразків.

Зростання зносостійкості до максимуму при 30% вмісту наповнювача пояснюється зменшенням відстані між карбідною фазою в покритті, що запобігає взаємодії абразиву з металевою матрицею.

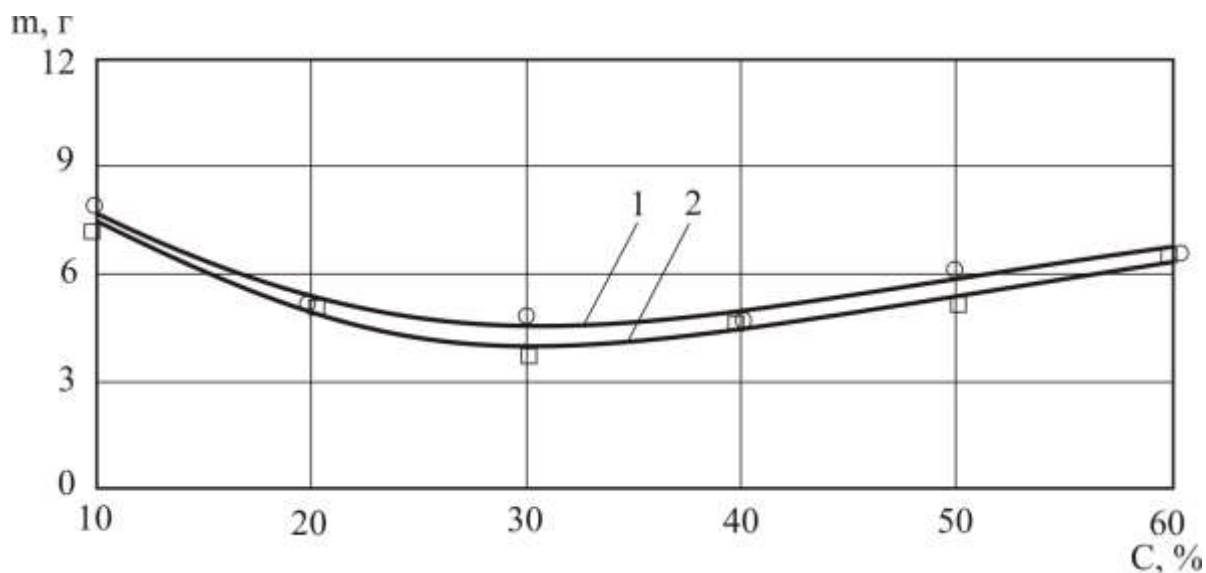


Рис. 4.19. Залежність масового зносу дослідних лабораторних зразків з композиційним покриттям різного складу від об'ємного вмісту керамічного наповнювача: 1 – Fe-Cr-Ni-TiC; 2 - Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂, час випробовування 100 год

Подальше зниження зносостійкості викликане викришуванням карбідів з покриття при його взаємодії з абразивними часточками ґрунту внаслідок розриву суцільності матриці. Також видно, що зносостійкість покриття складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ є дещо вищою від зносостійкості покриття складу Fe-Cr-Ni-TiC. Це можна пояснити більшою твердістю наповнювача та вищим рівнем міжфазної взаємодії компонентів покриття.

Отже, отримані результати дають змогу стверджувати, що оптимальна концентрація карбідної фази в покритті для обох складів складає приблизно 30%. Приведені результати цілком підтверджують теоретичні дослідження приведені в п. 3.4.

Виявлено залежності величини масового зносу зміцнених зразків від тривалості випробовувань(рис. 4.20).

Можна бачити, що при напрацюванні приблизно до 60 годин найменшою зносостійкістю володіють незагострені незміцнені зразки. Особливо інтенсивно їх зношування відбувається протягом перших 20 годин через більший об'єм металу в зоні абразивного зношування та завдяки прояву “крайового ефекту”.

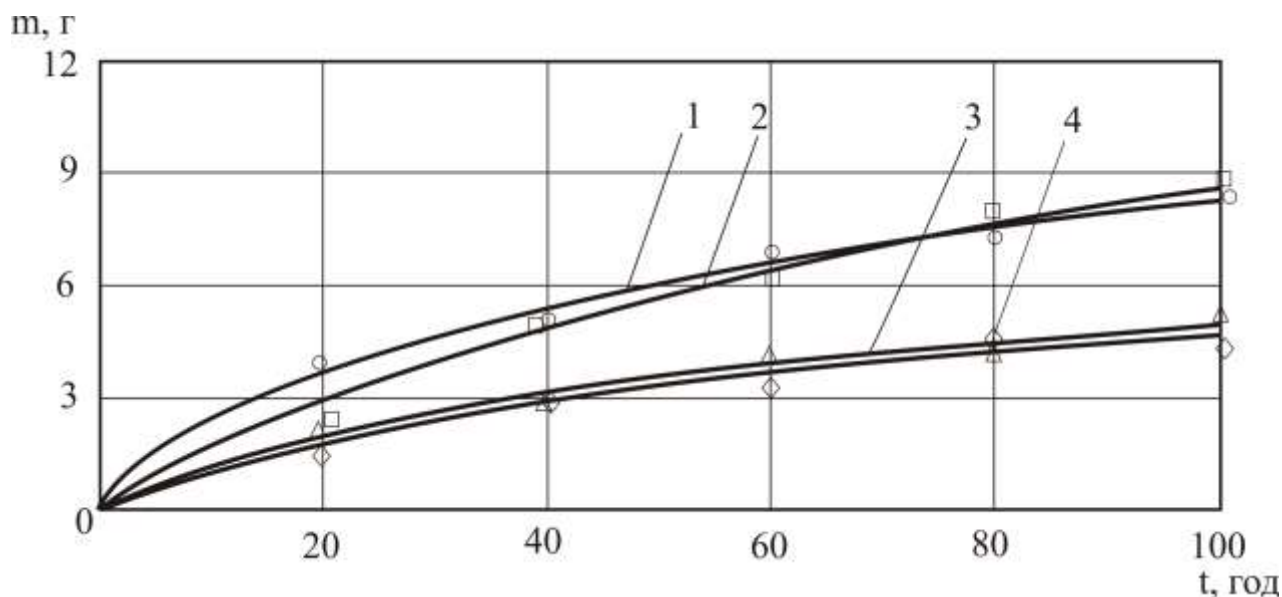


Рис. 4.20. Залежність масового зносу дослідних лабораторних зразків від напрацювання: 1 – незагострений; 2 – загострений; 3 – зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-TiC; 4 - зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ (об'ємний вміст наповнювача в обох складах – 30%)
















В подальшому знос поступово зменшується в міру зменшення контактної площі поверхні леза зразка, стабілізується і його величина під кінець випробовувань стає меншою ніж загострених зразків. Це підтверджує раніше наведені судження про недоцільність попереднього загострення ґрунторізальних елементів. Видно, що знос зміцнених зразків стрічками обох складів в 1,5...1,7 рази менший ніж незагострених. Порівняння зносу зміцнених зразків свідчить про те, що більшу зносостійкість мають зразки з привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂.

Для вивчення змін геометрії та характеру формування ефекту самозагострювання лез зразків з тривалим напрацюванням застосовували метод зняття відбитків, який наведено у п. 3.3.2.

З таблиці 4.5 можна бачити, що ефект самозагострювання проявляється у зразків з привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою. Причому, характер протікання процесу самозагострювання лез зміцнених композиційними покриттями обох складів однаковий.

Таблиця 4.5

Динаміка зміни профілів лез зразків в залежності від тривалості випробувань

Зона контролю	Напрацювання, год				
	20	40	60	80	100
I зона					
II зона					
III зона					

Спостереження за динамікою зміни різальної кромки зразків показали, що при збільшенні тривалості випробувань відбувалися зміни її радіусу. Обробка даних на ПЕОМ дозволила визначити радіус різальної кромки зразків та його залежність від тривалості досліджень (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Залежність радіусу різальної кромки зразків від тривалості випробувань

Зразки	Радіус різальної кромки, мм				
Тривалість випробувань, год	50	100	150	200	250
З незагостреним лезом	1,51	1,37	1,28	1,17	0,95
З загостреним лезом	0,30	0,39	0,51	0,64	0,87
З привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою Fe-Cr-Ni-Cr ₃ C ₂	1,37	1,12	0,76	0,53	0,32
З привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою Fe-Cr-Ni-TiC	1,43	1,16	0,77	0,55	0,34

Аналіз наведених даних показав, що найбільший радіус різальної кромки спостерігається у зразків з незагостреним лезом на початку випробовувань та кінці по їх завершенню. У зразків із загостреними лезами найнижчі значення радіусу різальної кромки. Майже постійні значення спостерігаються у зразків із загартованим загостреним лезом та у зразків з привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою. Виявлено, що ефект самозагострювання найбільш яскраво проявляється у двох останніх зразках, представлених в табл. 4.7. Доказом цього є значення мінімального радіусу різальної кромки впродовж тривалого терміну напрацювання.

Тобто, можна стверджувати, що доцільним є приварювати композиційну стрічку до лез полозів полозкових сошників зернових сівалок і реалізувати ефект самозагострювання.

4.6. Величина та характер зношування зміцнених сошників

Дослідження величини лінійного зносу зміцнених полозів полозкових сошників в лабораторних умовах проводили на лабораторному стенді за методикою наведеною в п. 3.5.1.

Для отримання більш достовірної інформації щодо ефективності запропонованої конструкції сошника зі зміцненим лезом проводили порівняльні дослідження. Крім експериментальних сошників на стенді досліджували стандартні сошники та сошники з незагостреним полозом.

Оскільки попередньо виявлено три характерні зони зношування леза полозу полозкового сошника, то результати досліджень величини зносу цих зон наведені на рис. 4.21-4.23.

Можна бачити, що найменший і більш стабільний лінійний знос І зони полозу сошника має лезо з привареною кераміко-металевою композиційною стрічкою обох складів.

Такі експериментальні дані добре збігаються з теоретичними обґрунтуваннями. Також помічено, що якщо лезо має зміцнення, тобто володіє більшою зносостійкістю, лінійний знос після близько 200 годин напрацювання

в 2,5 рази нижче в порівнянні з лезами стандартних полозів та в 1,7 рази в порівнянні з незагостреними лезами полозів

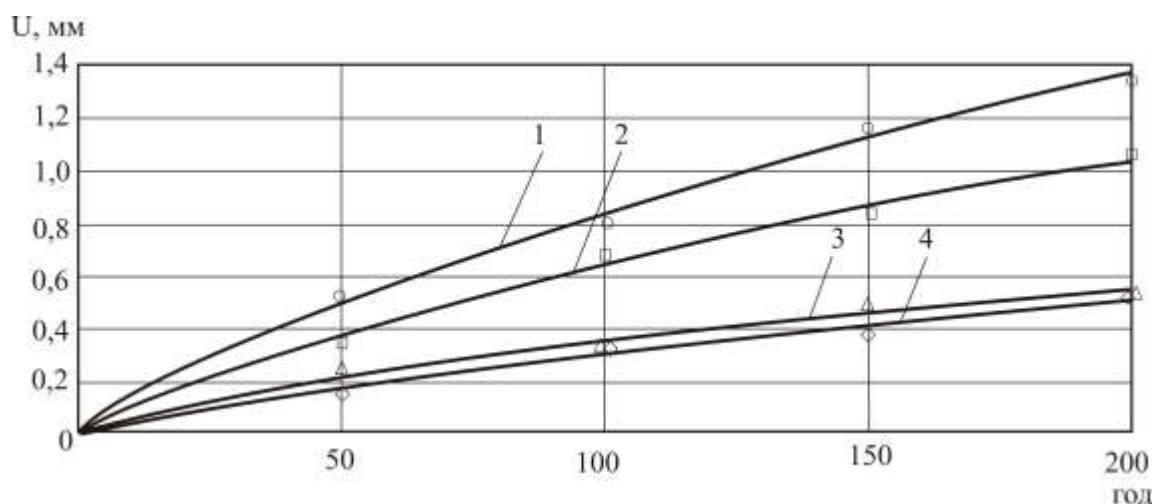


Рис. 4.21. Залежність лінійного зносу I зони полозу полозкового сошника від напруцювання: 1 – із загостреним лезом; 2 – з незагостреним лезом; 3 – зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-TiC; 4 - зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ (об'ємний вміст наповнювача в обох складах – 30%)

В найбільш навантаженій II зоні (рис. 4.22) лінійний знос зміцнених полозів в 1,2 рази більший ніж в I при однаковому напруцюванні. Але, водночас, він в 2,8 рази менший ніж у стандартного та у 2 рази менший ніж у незагостреного.

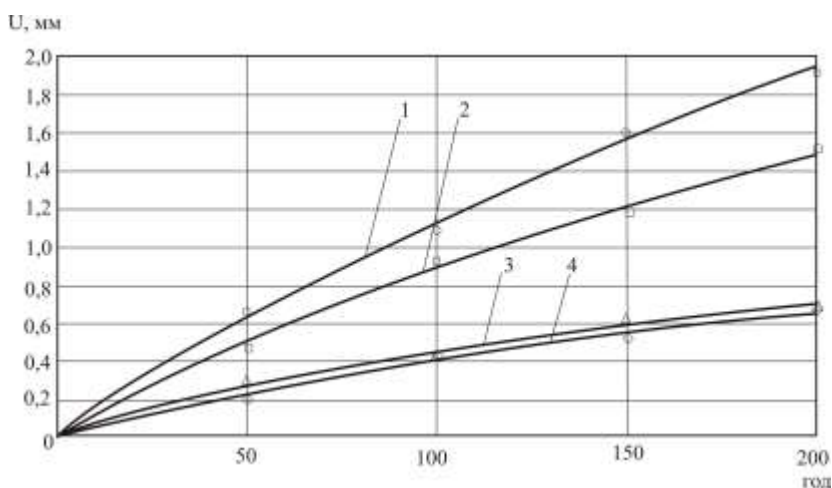


Рис. 4.22. Залежність лінійного зносу II зони леза полозу сошника від напруцювання: 1 – із загостреним лезом; 2 – з незагостреним лезом; 3 – зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-TiC; 4 - зміцнений покриттям складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ (об'ємний вміст наповнювача в обох складах – 30%)

Майже постійним та найменшим зносом володіють леза полозів з привареною композиційною стрічкою обох складів.

Для III, найменш навантаженої зони характер залежностей зносу від напрацювання (рис. 4.23) не відрізняється від попередніх за виключенням абсолютних значень. Лінійний знос для III зони зміцнених полозів сошника менший у 3,0 рази в порівнянні з сошником з стандартним полозом та у 2,2 рази менший ніж у сошника з незагостреним полозом.

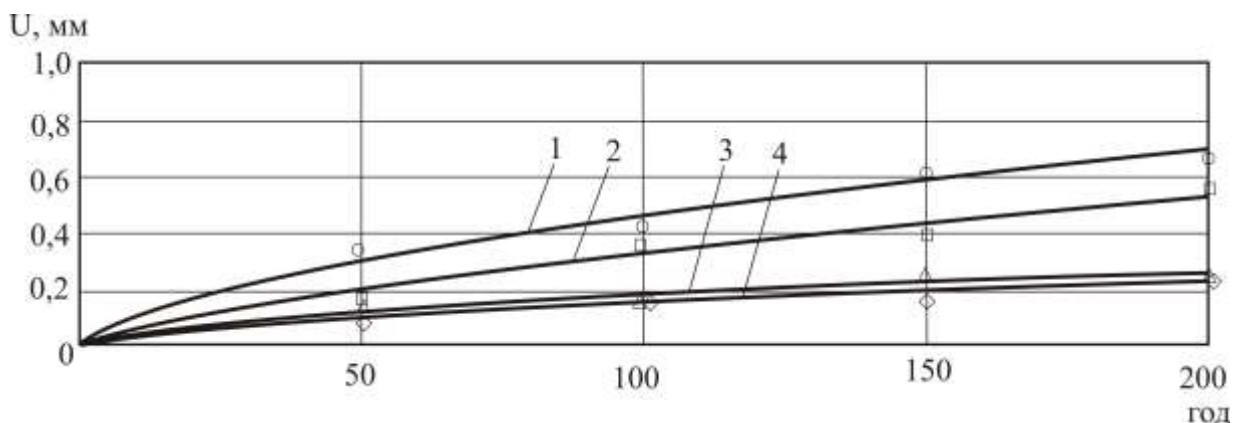


Рис. 4.8. Залежність лінійного зносу III зони полозу сошника від напрацювання:

1 – із загостреним лезом; 2 – незагостреним лезом; 3 – зміцненим покриттям складу Fe-Cr-Ni-TiC; 4 - зміцненим покриттям складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂
(об'ємний вміст наповнювача в обох складах – 30%)

Таким чином, результати стендових випробувань також в повній мірі підтверджують висновки зроблені в процесі теоретичного обґрунтування.

Проведені експериментальні дослідження взаємодії полозів полозкових сошників з абразивним середовищем дають можливість зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що попереднє загострення лез полозів сошників при їх виготовленні має позитивний вплив на якість загортання насіння та енергетичні показники сошників лише при напрацюванні до 15-20 га, після чого їх потрібно перезагострювати. Перше і наступні загострювання полозів негативно впливають на їх довговічність, сприяють швидкій втраті заданих конструктивних параметрів. Очевидною є необхідність відмови від попереднього загострення леза.

2. Результатами експериментальних досліджень підтверджено наявність трьох зон зношування та адекватність математичних моделей зносу стандартних та незагострених вертикально розміщених полозів сошників зернових сівалок.

3. Попередньо загострені та незагострені леза полозів набувають стабілізованого профілю практично за однакового напрацювання, але перші піддаються більшому лінійному зносу

4. Експериментально доведено, що для зменшення величини та інтенсивності зношування, створення конструктивних умов для формування самозагострюваних лез полозів сошників необхідно їх зміцнювати шляхом контактного наварювання на робочу поверхню композиційних кераміко-металевих стрічок. Найкращими матеріалами для композиції є пластикна матриця, яка складається із заліза, хрому, нікелю та рівномірно розподіленого в ній керамічного наповнювача у вигляді карбідів хрому чи карбідів титану.

5. Мікро- та рентгеноструктурний аналіз зміцнених шарів, дослідження на масовий та лінійний знос підтвердили теоретичні передбачення якісного та кількісного складу композиційних стрічок двох складів: Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂ та Fe-Cr-Ni-TiC з об'ємним вмістом керамічного наповнювача (Cr₃C₂ чи TiC) 30%.

6. В процесі переміщення леза полозу з привареною композиційною стрічкою в абразивному середовищі відбувається перерозподіл поля напружень у бік незміцненого матеріалу. Виявлений розподіл напружень свідчить про те що ним можна керувати, створивши сприятливі умови для зменшення абразивного зношування та виникнення ефекту самозагострювання.

7. Лабораторні та стендові дослідження зразків та деталей на зношування показали, що в процесі випробування має місце формування самозагострюваного леза. Виявлено, що зносостійкість всіх трьох зон зношування експериментальних полозкових сошників підвищилась: для першої зони лінійний знос у 2,5 рази нижчий в порівнянні з лезами стандартних полозів та у 1,7 рази в порівнянні з незагостреними лезами полозів; для другої зони - в 2,8 рази менший ніж у стандартного та у 2 рази менший ніж у незагостреного; для третьої зони - менший у 3,0 рази в порівнянні з сошником зі стандартним полозом та у 2,2 рази менший ніж у сошника з незагостреним полозом.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ І ТЯГОВОГО ОПОРУ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ЗІ ЗМІЦНЕНИМИ ПОЛОЗАМИ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПОЛОЗІВ СОШНИКІВ

5.1. Результати експлуатаційних випробувань експериментальних сошників зернових сівалок

З попередніх досліджень, проведених в лабораторних умовах видно, що поряд з питанням забезпечення певної довговічності полозів, слід враховувати характер зношування їх лез, який безпосередньо впливає на якість загортання насіння та тяговий опір сошників. З метою отримання більш повної інформації про процес зношування та формування самозагострюваного леза полозу експлуатаційні дослідження проводили в польових умовах дослідного поля КНТУ, ТОВ СВК “Україна” Добровеличківського району, ПСП “Лісне” Кіровоградського району, СТОВ “Зоря” Ульяновського району Кіровоградської області. Видно (табл. 5.1), що незалежно від географічного положення господарств механічний склад ґрунтів практично не відрізняється і характеризує глинисту структуру.

Таблиця 5.1

Механічний склад ґрунтів деяких господарств Кіровоградської області, %

Район, назва господарства	Фракція, мм						
	1- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	< 0,01
Ульяновський р-н							
СТОВ “Зоря”	0,19	8,30	31,85	11,36	10,70	37,60	59,66
Добровеличківський р-н							
ТОВ СВК “Україна”	0,21	8,10	30,38	10,86	10,15	40,30	61,31
Кіровоградський р-н							
ПСП “Лісне”	0,24	9,55	33,52	11,16	9,98	35,55	56,69

Присутність в досліджуваних ґрунтах близько 40% ґрунтових часточок розміром більше 0,01 мм вказує на досить високу їх абразивність. Час досліджень вибирали таким чином, щоб абсолютна вологість ґрунту на досліджуваних ділянках істотно не відрізнялася. Значення вологості коливалися в межах 17...25%.

Навіть візуальний огляд стандартних полозів, які відпрацювали 25 га вказує на те, що мають місце три характерні зони зношування його леза (рис. 5.1-а).



а)



б)

Рис. 5.1. Полози сошників зернових сівалок після напрацювання 25 га:
а – стандартного виготовлення (стабілізація профілю леза); б – з привареною композиційною стрічкою (ефект самозагострювання леза)

Видно, що найбільший знос має місце в середній частині другої зони з проявом тенденції розвитку зносу при подальшому напрацюванні в “тіло” полозу.

Візуальний огляд зміцненого полозу (рис. 5.1-б) не виявив суттєвих змін його геометричних параметрів. Однак, має місце односторонній знос металу основи полозу в зоні контакту з ґрунтом, що свідчить про протікання процесу самозагострення леза.

Для отримання бази даних про величину і характер зносу, середнє напрацювання полозів до вибракування, динаміку зміни їх форми та для виявлення умов спостереження ефекту самозагострювання в процесі експлуатаційних випробувань знімали параметри геометрії та зносу через кожні 5 га напрацювання на один полз відповідно.

Як і при стендових випробовуваннях, підтверджується той факт, що великому зносу піддаються другі зони полозів сошників зернових сівалок (рис. 5.2).

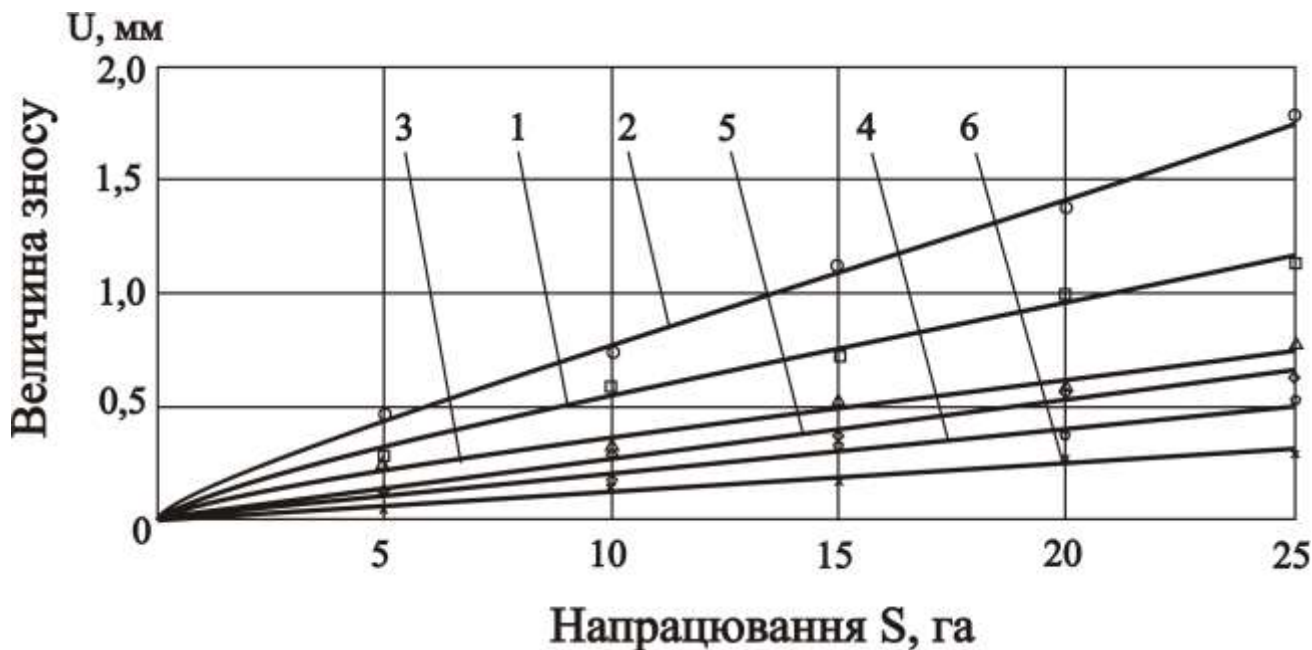


Рис. 5.2. Залежність лінійного зносу леза полозу по зонах від напрацювання:
 1 – I зона стандартного сошника ; 2 – II зона стандартного сошника; 3 – III зона стандартного сошника; 4 – I зона експериментального сошника; 5 – II зона експериментального сошника; 6 – III зона експериментального сошника

З рисунку випливає, що абсолютні значення зносу для всіх зон контролю лез полозів експериментальних сошників при напрацюванні 25 га менші ніж стандартних. Так знос полозу експериментального сошника в першій зоні в 2,6 менший ніж стандартного. В другій, найбільш навантаженій – в 2,3 рази, а в третій - в 2,7 рази менший ніж стандартного. Дані дослідження підтверджують високу ефективність експериментальних сошників.

Для виявлення впливу зміни форми лез полозів полозкових сошників зернових сівалок на енергетичні показники процесу сівки, а також перевірки ефективності запропонованої конструкції полозкового сошника, проведено вимірювання тягового опору.

Вимірювання тягового опору стандартних та експериментальних сошників проводили шляхом динамометрування за методикою наведеною в п.

3.7, на полі, підготовленому під сівбу, у відповідності до агротехнічних вимог. Експеримент проводився в стислі строки, з метою запобігання змінам властивостей ґрунту в результаті зміни погодних умов.

Можна бачити (рис. 5.3), що стандартні сошники мають менший тяговий опір на початку експлуатаційних досліджень.

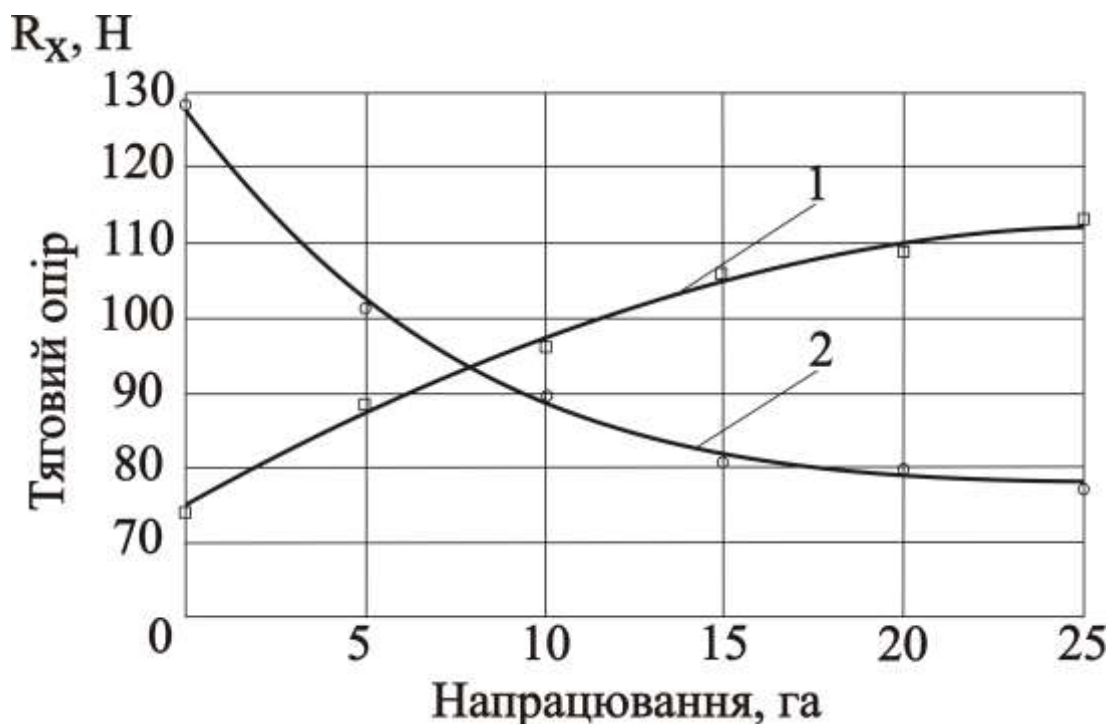


Рис. 5.3. Залежність тягового опору сошників від напрацювання: 1 – стандартних; 2 – експериментальних

Але в процесі роботи величина їх тягового опору постійно збільшується, оскільки відбувається затуплення різальної кромки леза. При набутті лезом стабілізованого профілю тяговий опір досягає максимального значення (112 Н) і його подальше зростання практично припиняється.

Зворотній ефект зміни тягового опору мають експериментальні сошники. На початку досліджень має місце максимальне значення тягового опору. Це можна пояснити тим, що, по-перше, вони мають більшу контактну площу при переміщенні в ґрунті; по-друге, в процесі припрацювання на бічних шорстких поверхнях лез спостерігається налипання ґрунту. В подальшому тяговий опір зменшується і мінімальне його значення стабілізується при напрацюванні близько 20-25 га і складає приблизно 78 Н, яке з часом майже не

змінюється. Це вказує на те, що спостерігається ефект самозагострювання леза полозу.

Ресурсні дослідження полозів полозкових сошників тривали до граничних значень зносу їх лез, адже наявність зношеного полозу унеможлиблює якісне загортання насіння погіршує техніко-економічні показники процесу сівби.

Результати ресурсних досліджень полозів стандартних та експериментальних сошників зернових сівалок (рис.5.4) дають можливість зробити висновок про доцільність застосування конструкції експериментального сошника зі зміцненим полозом. Ресурс експериментальних сошників майже в 1,6 рази більший ніж стандартних.

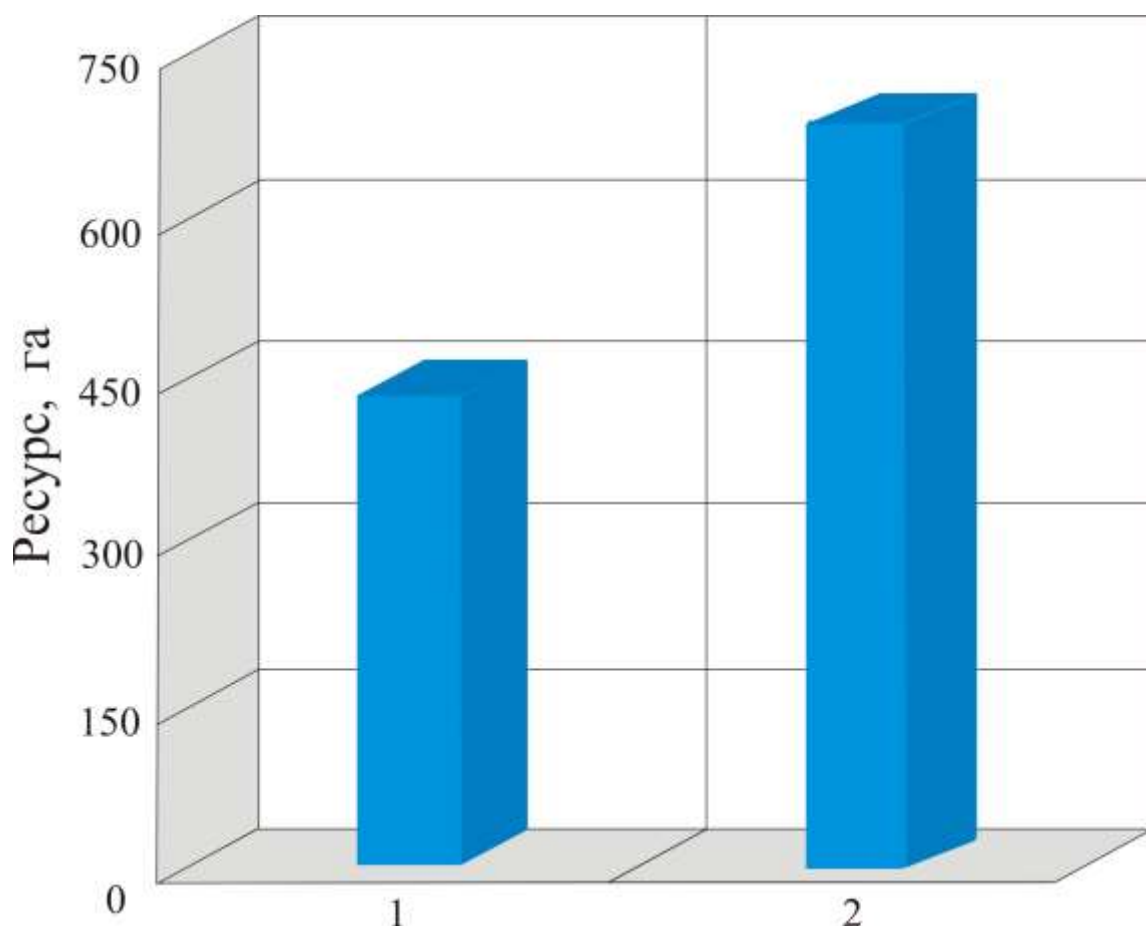


Рис.5.4. Ресурс полозів полозкових сошників зернових сівалок:

1 – стандартних; 2 – експериментальних

5.2. Рекомендації для впровадження конструкції полозу з привареною композиційною стрічкою до його леза у виробництво

Обсяг проведених теоретичних та експериментальних досліджень в дисертаційній роботі дає змогу сформулювати наступні рекомендації виробництву:

1. Перспективними конструкціями полозів полозкових сошників зернових сівалок, які дають можливість суттєво підвищити їх зносостійкість і реалізувати умови самозагострювання леза є полози з привареною композиційною стрічкою більшої зносостійкості.

3. Для забезпечення нормального протікання процесу самозагострювання лез полозів зернових сівалок доцільно приварювати композиційну стрічку складу $\text{Fe-Cr-Ni-Cr}_3\text{C}_2$.

4. При приварюванні стрічки до леза полозу слід дотримуватися наступних режимів: тиск приварювання – $P = 54 \dots 82$ МПа, швидкість наварювання повинна лежати в межах $0,5 \dots 1,0$ м/хв.; зварювальний струм – $I = 8 \dots 9$ кА

5. Впровадження таких нових конструкцій полозів сошників з привареною стрічкою, дозволяє автоматизувати процеси отримання конструкцій полозів шляхом створення апаратно-програмних керуючих комплексів для безперервного виробництва та моніторингу на основі ПЕОМ.

5.3. Економічна ефективність від впровадження запропонованої конструкції сошників зернових сівалок

Оцінка економічної ефективності запропонованої конструкції сошників проведена за результатами експлуатаційно-технологічного дослідження їх параметрів згідно з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 та ДСТУ 4397:2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці механізаторів.

Критерієм економічного оцінювання є річний економічний ефект від експлуатації нової машини, величина якого має забезпечувати рівень

ефективності інвестиційних вкладень не нижче нормативного (на етапі випробувань приймають рівним 0,2).

Показниками порівняльної економічної ефективності є річний економічний ефект, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень у роках, річна економія ресурсів. Вихідні данні для економічної оцінки впровадження нових полозів у виробництво наведено в таблиці 5.2.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини з урахуванням кількості та якості продукції (E_p) у гривнях визначали за формулою:

$$E_p = (\Pi_{\bar{o}} - \Pi_n) \cdot B_3 + E_{\bar{a}}, \quad (5.1)$$

де $\Pi_{\bar{o}}$, Π_n – сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовій і новій машинах, грн./од. наробітку;

B_3 – річний обсяг наробітку новою машиною в умовах певної природно-кліматичної зони, од. наробітку;

$E_{\bar{a}}$ – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

Зональний річний обсяг наробітку новою машиною (B_3) в одиницях наробітку обчислювали за формулою:

$$B_3 = W_{ek} \cdot T_3, \quad (5.2)$$

де W_{ek} – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу, од. наробітку/год;

T_3 – зональне річне завантаження машини, год.

Річний економічний ефект (O) від експлуатації нової машини у гривнях розраховували за формулою:

$$O = (I_{\bar{o}} - I_n) \cdot B_3, \quad (5.3)$$

де $I_{\bar{o}}$, I_n – прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машинах на одиницю наробітку, грн./од. наробітку.

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову машину ($T_{окд}$) у роках можна оцінити за формулою:

$$T_{окд} = \frac{K_n - K_{\bar{o}}}{O}, \quad (5.4)$$

де K_n , K_0 – сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову та базову машину, грн.

Таблиця 5.2

Вихідні данні для економічної оцінки виготовлення полозів
(запропонованого варіанту зміцнення)

№ п/п	Показники	Од. вим.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1	2	3	4	5
1	Сівалка СЗ-3,6, ціна	грн.	38700	38700
2	Продуктивність за годину: - основного часу - експлуатаційного	га/год.	3,43 2,44	3,43 2,34
3	Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	-	0,71	0,74
4	Зональний річний обсяг наробітку	га	390,4	406,4
5	Витрати на виготовлення полозів	грн..	18,2	18,2
6	Витрати на підвищення зносостійкості	грн..	1,26	3,53
7	Собівартість полоза	грн.	19,46	21,73
8	Питомі витрати палива	л/га	3,0	2,9
9	Кількість персоналу	осіб	1	1
10	Тарифна ставка V розряду	грн./год	12,55	12,55
11	Кількість виготовлених полозів як запчастин	шт	24	16
12	Коефіцієнт додаткової заробітної плати за якість та доплата за класність механізатору	-	1,35	1,35
13	Відсоток відрахувань до соціальних фондів	%	37	37
14	Вартість обладнання для підвищення зносостійкості	тис. грн.	27,7	128,16

Сукупні витрати (Π) у гривнях на одиницю наробітку розраховували за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_n, \quad (5.5)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн./од. наробітку;

K – питомі інвестиційні вкладення, грн./од. наробітку;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

Прямі експлуатаційні витрати (I) у гривнях на одиницю наробітку розраховували за формулою:

$$\dot{E} = \zeta + \tilde{A} + \dot{D} + \dot{A}, \quad (5.6)$$

де ζ – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од. наробітку;

Γ – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн./од. наробітку;

P – затрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, грн./од. наробітку;

A – затрати на амортизацію, грн./од. наробітку.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу (ζ) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$\zeta = \frac{\sum_{j=1}^n \ddot{E}_z \cdot t_i \cdot r_i \cdot \hat{e}_a \cdot n_i}{W_{\zeta i}}, \quad (5.7)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонту машини (визначають за даними випробувань), люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год;

r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн./люд.-год;

κ_d – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування фонд сприяння зайнятості);

W_{zm} – продуктивність нової машини за годину експлуатаційного часу, од.

наробітку/год.

Затрати коштів на паливно-мастильні матеріали (Γ) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$\tilde{A} = q \cdot \hat{e}_i \cdot \ddot{O}_i, \quad (5.8)$$

де q – питомі витрати палива, кг/од. наробітку;

C_n – ціна одного кілограма палива, грн./кг;

κ_n – коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів.

Затрати на капітальний та поточний ремонт та технічне обслуговування (P) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$P = \frac{\hat{A} \cdot (r_{\delta} + r_{\hat{e}})}{W_{\hat{a}\hat{e}} \cdot \ddot{O}_i}, \quad (5.9)$$

де r_m – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_n – нормативне річне завантаження, год.

Затрати на амортизацію машини (A) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$A = \frac{\hat{A} \cdot \hat{a}}{W_{\hat{a}} \cdot \ddot{O}_i}, \quad (5.10)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини.

Вихідні данні для економічної оцінки нової техніки наведено в таблиці 5.2.

Економія в зв'язку зі зменшенням обсягів виробництва полозів як запчастин:

$$E_{зч} = 19,26 \cdot 24 - 21,73 \cdot 16 = 114,56 \text{ грн.}$$

Економія за рахунок росту продуктивності на одну сівалку:

$$E_{я} = (64,9 - 62,37) \cdot 406,4 = 1029,74 \text{ грн.}$$

Загальна економія:

$$E_z = 114,56 + 1029,74 = 1144,4 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект у виробника на одну тисячу сівалок:

$$E_{\sigma} = (19,26 \cdot 24 - 21,73 \cdot 16) \cdot 1000 - 0,2(128160 - 27600) = 94448 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень у виробника:

$$T_{окд} = \frac{128160 - 27600}{114,56 \cdot 1000} = 0,88 \text{ років}$$

Таблиця 5.3

Результати розрахунку річної економії та річного економічного ефекту від впровадження полозів запропонованої конструкції

№ п/п	Показники	Од. вим.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1	Зональний обсяг наробітку	год	160	160
2	Фактичний обсяг наробітку	га	390,4	406,4
4	Прямі експлуатаційні витрати:	грн./га		
	- заробітна плата з нарахуванням		7,48	7,19
	- витрати паливо мастильних матеріалів		22,13	21,27
	- витрати на ремонт		14,73	14,16
	- амортизаційну витрати		20,56	19,76
	Всього прямі витрати		64,9	62,37
5	Річна економія експлуатаційних витрат	грн./га	-	2,53
6	Річна економія експлуатаційних витрат на річний фактичний обсяг наробітку однією сівалкою	грн.	-	1029,74

Таким чином, економічний ефект у споживача на одну сівалку за рік складає 1029,74 грн. З урахуванням ефекту отриманого виробником загальний економічний ефект від впровадження в виробництво та експлуатацію запропонованої конструкції полозкового сошника на одну зернову сівалку становить 1124,18 грн. в цінах 2012 року, що свідчить про доцільність запропонованих розробок.

Результати експлуатаційних випробовувань полозів полозкових сошників зернових сівалок та техніко-економічна оцінка від впровадження запропонованої конструкції полозу дають можливість стверджувати наступне:

В процесі експлуатації ресурс полозів зернових сівалок залежить передусім від способу підвищення їх зносостійкості у характерних зонах зношування.

Композиційна стрічка, що приварюється до леза полозу сошника в 2,3...2,7 рази дозволяє зменшити знос у всіх трьох характерних зонах у порівнянні з полозами стандартного виготовлення.

Застосування нової конструкції полозів сприяє зменшенню тягового опору сошників в процесі сівби і набуття його мінімального значення вже після напрацювання 20-25 га.

Ресурсні дослідження показали, що найвищі значення ресурсу спостерігаються у запропонованій конструкції лез полозів, а його величина майже в 1,6 рази більша в порівнянні зі стандартними.

Техніко-економічна ефективність запропонованої конструкції полозкових сошників підтвердила доцільність їх застосування при експлуатації зернових сівалок. При цьому очікуваний річний економічний ефект від впровадження у виробництво та експлуатацію експериментальних полозкових сошників на одну сівалку становить 1124,18 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Загальна надійність посівних машин в значній мірі залежить від довговічності сошників. Аналіз величини та характеру зношування ґрунторізальних елементів сошників показав, що перспективним при їх виготовленні для підвищення довговічності є застосування композиційних кераміко-металевих матеріалів, а саме, попередньо спроектованих та сформованих у вигляді композиційних кераміко-металевих стрічок. Один з найкращих способів нанесення композиційних стрічок на робочу поверхню, з точки зору технологічних особливостей та експлуатаційних властивостей покриття, є спосіб контактного їх наварювання.

2. Обґрунтована закономірність зношування вертикально розміщеного леза полозу сошника та побудована математична модель процесу зміни його гостроти свідчать, що для даного процесу є характерною наявність трьох зон, конструктивні параметри яких залежать від напрацювання. Найбільший знос має середня зона. Доведена недоцільність попереднього загострення полозів.

3. Шляхом експериментальних досліджень встановлено, що для найбільш ефективного підвищення довговічності ґрунторізальних елементів полозкових сошників є зміцнення їх лез контактним наварюванням композиційної стрічки складу Fe-Cr-Ni-Cr₃C₂.

4. Отримана математична модель (вираз 2.30) величини зміщення вершини кромки зміцненого леза відносно його середини, яка враховує співвідношення значень зносу, твердості та товщини зміцненого і несучого шарів і визначає умову самозагострювання.

5. Теоретично і експериментально доведено, що на процес формоутворення профілю різальної кромки леза полозу та зносостійкість його характерних зон впливають властивості абразивного технологічного середовища, матеріал полозу, його напружено деформований стан та компонентний склад стрічки, що приварюється. При цьому самозагострювання леза спостерігається, якщо матриця матеріалу стрічки містить 18...22% Cr, 8...11% Ni, інше – залізо (залізний порошок (ПЖ-Б5), а об'ємний вміст керамічного наповнювача (Cr₃C₂) в ній - 30%.

6. Лабораторними та експлуатаційними випробуваннями полозкових сошників зернових сівалок встановлено, що конструкція полозу з привареною композиційною стрічкою має величину зносу в 2,3...2,7 рази меншу ніж у полозів стандартного виготовлення, причому приварена стрічка дозволяє знизити знос у його всіх характерних зонах та підвищити ресурс таких полозів в 1,6 рази в порівнянні з базовим варіантом.

7. Теоретично та експериментально обґрунтовані залежності тягового опору сошника зі зміцненим полозом від конструктивних параметрів свідчать про можливість забезпечення мінімального тягового опору після напрацювання 20-25 га.

8. Техніко-економічна ефективність запропонованої конструкції полозкового сошника зі зміцненим лезом підтвердила доцільність її застосування при експлуатації зернових сівалок. Очікуваний річний економічний ефект на одну зернову сівалку становить 1124 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
2. Астахов А.С. Применение технической керамики в с.-г. производстве. / А.С. Астахов, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 64 с.
3. Атлас почв Украинской ССР. / Под ред. Крупского Н. К., Полупанова Н. Н. – К.: Урожай, – 1979. – 160 с.
4. Аулін В.В. Довговічність полозу полозкового сошника зернових сівалок. / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, Д.М. Барановський // Проблеми трибології. - Хмельницький, ХДУ, 2009.- № 1.– 2009.– С. 112-119.
5. Ахметшин Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрельчатых лап культиваторов. автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.20.03 “Технологи и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве” / Т. Ф. Ахметшин. – НПО ВИСХОМ, М., 1988. – 20 с.
6. Ахметшин Т.Ф. О влиянии на горизонтальную и вертикальную составляющие тягового сопротивления размера и формы носка стрельчатой лапы / Т.Ф. Ахметшин, М.М. Тененбаум. // Совершенствование машин и рабочих органов для производства корнеклубнеплодов и овощей.– М.: ВИСХОМ, 1987.- С.102-106.
7. Бабаев И.А. Исследование и разработка технологии восстановления деталей порошковыми композиционными покрытиями автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.20.03 “Технологи и средства технического обслуживания в с.-х. / И.А. Бабаев. – М., 1982. – 17 с.
8. Бабай Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов. / Ю.И. Бабай, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев – К.: Наукова думка, 1995. – 253 с.
9. Бакум М.В. Посівні машини: матеріали лекцій / М.В. Бакум, І.В. Морозов, С.П. Нікітін. – Харків.: ХДТУСГ, 2001. – 130 с.

10. Басин В.С. Семязаделяющие рабочие органы и подвески сошника зарубежных свекловичных сеялок / В.С. Басин // Тракторы и сельхозмашины. – 1977.–№ 1. – С. 43-46.
11. Батурин А.А. Влияние механического состава почвы на износ лемеха. / А.А. Батурин // Почвоведение. - 1939. – №1. - С. 18-22.
12. Беккерт М. Способы металлографического травления: справочник. / М. Беккерт, Х. Кимм. – М.: Металлургия, 1998. – 399с.
13. Белоусов В.Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами / В.Я. Белоусов – Львов: Выща школа, 1984. – 180 с.
14. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 2002.–№ 6. – С. 40-45.
15. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания почворежущих элементов при абразивном изнашивании / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1985.–№ 6.– С. 15-19.
16. Бернштейн Д.Б. Износостойкость лемехов зонально упрочненных твердыми сплавами / Д.Б. Бернштейн, И.В. Лискин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 9. – С. 41-46.
17. Бетень Г.Ф. Повышение долговечности почворежущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой наплавлением / Г.Ф. Бетень // Обзор. информ. БелНИИНТИ и ТИ. – Мн.: БелНИИНТИ, 1986. – 141 с.
18. Бойко А.И. Исследование формы естественного износа монометаллических лезвий почвообрабатывающих машин. / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Зб. наук. праць КДТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеve машинобудування, автоматизація. – Вип. 6.–Кіровоград: КДТУ, 2000.– С. 78-82.
19. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу / А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопіль. держ. техн. університету. – 2000. – Т. 5.–№ 4. – С. 78-82.

20. Бойко А.И. Упрочнение лезвий, как метод управления их геометрической формой при изнашивании / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Вісник Харківського технічного університету сільського господарства. Вип. 4. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – С. 49-56.
21. Варума Арифа. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственных машин газопорошковой наплавкой керамико-металлических покрытий: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства» / Варума Арифа. – Кировоград, 1999. – 17 с.
22. Василенко П.М. Исследование работы сошников и пути их усовершенствования. / П.М. Василенко. – К. :Госиздат, 1945. – 222 с.
23. Васильев С.П. Об изнашивающей способности почв. / С.П. Васильев, Л.С. Ермолов // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин: сборник. - М.: Машгиз, 1960. – С. 83-88.
24. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание. / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, М.Г. Колокольников.– М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
25. Вейс Ю.А. Курс сельскохозяйственного машиноведения / Ю.А. Вейс. - М., Сельхозгиз, 1931.- 132 с.
26. Винокуров В.Н. Повышение износостойкости культиваторных лап путем обеспечения их самозатачивания. / В.Н. Винокуров // Повышение надежности и долговечности сельскохозяйственных машин: сборник. – М., 1964. – С. 369–375.
27. Винокуров В.Н. Влияние почвенных условий на форму профиля однородного почворежущего лезвия / В.Н. Винокуров, А.К. Малов // Тракторы и сельхозмашины. – 1980. – № 7. – С. 15-21
28. Винокуров В.Н. Определение выбраковочных параметров режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий. / В.Н. Винокуров, А.К. Малов, В.В. Копанов // Тракторы и сельхозмашины. – 1976, - № 10, С. 23–25.

29. Волков Ю.В. Долговечность машин, работающих в абразивной среде. / Ю.В. Волков, З.А. Волкова, Л.М. Кайгородцев. – М.: Машиностроение, 1964. – 116 с.
30. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. / С.С. Вялов – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
31. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность). / Д.Н. Гаркунов – М.: Изд. НСХА, 2001. – 616 с.
32. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М.: МИСИС, 2002. – 306 с.
33. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. / И.Г. Горячева – М.: Наука, 2001. – 478 с.
34. Горячкин В.П. Земледельческая механика / В.П. Горячкин – М., 1919. – 720 с.
35. Гринберг Н.А. Износостойкие наплавочные и композиционные материалы для упрочнения трущихся поверхностей в условиях абразивного и гидроабразивного изнашивания / Н.А. Гринберг, А.Б. Арабей // Сварочное производство. – 1992. - № 5. – С. 7-9.
36. Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения. / Д.Г. Громаковский. – М.: Машиностроение, 2005. – 290 с.
37. Ґрунтознавство з основами геології: навч. пос. / [О. Ф. Гнатенко, М. В. Капштик, Л. Р. Петренко, С. В. Вітвицький]. – К.: Оранта, 2005. – 648с.
38. Гуляев А.П. Металловедение. / А.П. Гуляев – М.: Металлургия, 1986. – 326 с.
39. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов. / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
40. Дорожкин Н.Н. Дуговая газопорошковая наплавка / Н.Н. Дорожкин, Н.Н. Петюшев.- Минск : Беларусь, 1989. – 94 с.

41. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. – Вып. 9. – М., 1940. – 27 с.
42. Зазимко О.В. Пути повышения абразивной износостойкости деталей и рабочих органов машин / О.В. Зазимко // Проблемы конструирования и технология производства сельскохозяйственных машин. – 1986. – С. 112-114.
43. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электро-термическая технология нанесения защитных покрытий. / В.С. Ивашко, И.Л. Куприянов, А.И. Шевцов. – Минск: Навука і тэхніка, 1996. – 375 с.
44. Износ деталей сельскохозяйственных машин / [М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич и др.]; под ред. М.М. Севернева – Л.: «Колос», 1972. – 288 с.
45. Износостойкие наплавочные и композиционные материалы для упрочнения трущихся поверхностей в условиях абразивного и гидроабразивного изнашивания / Н.А. Гринберг, А.Б. Арабей // Сварочное производство. – 1992. - № 5. – С. 7-9.
46. Икрамов У. Механизмы и природа абразивного изнашивания / У. Икрамов – Ташкент: ФанУзССР, 1979. – 132 с.
47. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа / У.А. Икрамов – М: Машиностроение, 1987. – 288 с.
48. Исследование сплавов, наплавленных шихтой, содержащей тугоплавкие соединения / С.Я. Пирогов, И.Н. Шеенко, И.И. Марков [и др.] // Порошковая металлургия. – 1977. - № 10. – С. 92-98.
49. Канивец И.Д. О влиянии на износ размера абразивных частиц / И.Д. Канивец // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1969. № 1. – С. 25-27.
50. Каплук Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. / Г.П. Каплук – Минск: Изд. Академии с.-х. наук БССР, 1966. – С. 54-68.

51. Каракозов Э.С. Соединение металлов в твердой фазе / Э.С. Каракозов – М.: Металлургия, 1976. – 263 с.
52. Каракозов Э.С. Состояние и перспективы восстановления деталей электроконтактной приваркой материалов / Э.С. Каракозов, Р.А. Латыпов, Б.А. Молчанов. – М.: Информагротех, 1991. – 83 с.
53. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кащеев – М.: Наука, 1970. – 247с.
54. Керметы / [П.С. Кислый, Н.И. Боднарук, М.С. Боровиков и др.] – К: Наукова Думка, 1985. – 272 с.
55. Керування характером та інтенсивністю зношування різальних частин робочих органів ґрунтообробних машин / [В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Т.М. Ауліна та ін.] // Вісник Харківського держ. техн. університету с-г. – 2004. – Вип. 23.– Харків. – С. 270-273.
56. Китиль Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китиль [пер. с англ. И.И. Иванов]. – М.: Наука, 1978.– 792 с. – (четвертое американское издание)
57. Коваленко В.С. Металлографические реактивы: справочник / [сост. В.С. Коваленко]. – М.: Металлургия, 1981.– 120 с.
58. Ковтун В. Модель системи “машина – дискретне технологічне середовище” / В. Ковтун, О. Дорофєєв, О. Колесникова // Машинознавство. – 2004. – № 6. – С. 43-46.
59. Козаченко О.В. Дослідження по зміцненню леза дискових копачів коренезбиральної машини КС-6Б / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Зб. наук. праць. ВДАУ.-Вінниця: ВДАУ, 2005.-Вип.21.- С. 185-189.
60. Композиционные плакированные порошки для создания защитных и упрочняющих покрытий и композиционных материалов: проспект НПО “Композиционные системы”.– Тбилиси: Сабчота Самартвело, 1986.–5 с.
61. Кондратьев Е.Т. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин / Е.Т. Кондратьев, В.Е. Кондратьев – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.

62. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин / Б.И. Костецкий – Киев: Знание, 1984. – 20 с.
63. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа / Б.И. Костецкий – Киев: Знание, 1981. – 31 с.
64. Костецкий Б.И. Динамическое равновесие процессов при трении и износе металлов / Б.И. Костецкий, Л.И. Бершадский – ДАН СССР, 1970. – Т.190, № 6. – С. 30-38
65. Костецкий Б.И. Расчет интенсивности изнашивания при нормальном трении / Б.И. Костецкий, О.В. Зазимко, А.М. Зелинский // Применение новых материалов, заменителей и систем смазки в узлах трения машин и оборудования. – Воронеж, 1986. – С. 35-38.
66. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
67. Кряжков В. М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники / В.М. Кряжков – М.: Агропромиздат, 1989. – 335 с.
68. Кузнецов В. Д. Избранные труды. Физика резания и трения металлов и кристаллов / В. Д. Кузнецов. – М. : Наука, 1977. – 310 с.
69. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність / А.Г. Кузьменко – Хмельницький: ТУП, 2002. – 151 с.
70. Куксенова Л.И. Методы испытаний на трение и износ.: справ. изд. / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с.
71. Кулу П. Износостойкость порошковых материалов и покрытий / П. Кулу – Таллин: Валгус, 1988.– 120 с.
72. Ландау Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М.: Наука, 1987. – 452 с.
73. Лоренц В. Ф. Износ деталей, работающих в абразивной среде / В. Ф. Лоренц // Тр. 1 Всесоюз. конф. по трению и износу в машинах. Т. 1. – М. : Изд-во АН СССР, 1939. – С. 93-112.

74. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин / В.Ф. Лоренц – М.: Машгиз, 1948. – 100 с.
75. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.А. Гремчевский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 527 с.
76. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
77. Львов П.Н. Износостойкость деталей строительных и дорожных машин / П.Н. Львов – М.: Машгиз, 1962. – 87 с.
78. Мачок Ю.В. Визначення максимального розміру керамічного наповнювача в композиційному покритті / Ю.В. Мачок, Є.К. Солових // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць – Кіровоград: КДТУ, 1999.- Вип. 5 – С. 131-134.
79. Мачок Ю.В. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу / Ю.В. Мачок, В.В. Аулін, Є.К. Солових, І.К. Солових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.– Кіровоград, 2011. – Вип. 41; Ч. 1 – С. 297–300.
80. Мачок Ю.В. Підвищення зносостійкості різальних елементів полозкових сошників зернових сівалок композиційними матеріалами / Ю.В. Мачок // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ – Кіровоград: КДТУ, 2002. – Вип. 11. – С. 216-219.
81. Мачок Ю.В. Вплив характеру формування самозагострюваного ґрунторізального елемента на тяговий опір полозкових сошників / Ю.В. Мачок, М.І. Черновол, Є.К. Солових [та ін.]: зб. наук. праць – Кіровоград: КДТУ, 2004. – Вип. 34 – С. 164-167.
82. Маяускас И.С. Исследование распределения давления по поверхности лемеха при пахоте / И.С. Маяускас // Тракторы и сельхозмашины. – 1958. - № 11.

83. Металловедение и термическая обработка стали: справ. Изд: в 3 т. / [ред. Бернштейна М. Л., Рахштада А. Г.] – М.: Metallurgy. – 1983. Т. 1. – Методы испытаний и исследований.–352 с.
84. Методика установления предельных состояний рабочих органов почвообрабатывающих машин: общие положения. – М., 1985. – 33 с.
85. Методика электронно-микроскопического анализа вторичных структур на поверхностях трения металлов и полимеров / Б.И. Костецкий, А.К. Караулов, Н.Б. Костецкая [и др.] // Заводская лаборатория. – 1977. – № 11. – С. 1378-1379.
86. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник/ [О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.]; за ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
87. Морозов И.В. Посевные и посадочные машины.: проблемная лекция / И.В. Морозов. – Харьков, 1984. – 75 с.
88. Морозов І.В. Технологічні і технічні основи удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок: автореф. На здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / І.В. Морозов. – Тернопіль, 2003. – 40 с.
89. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой / С.Г.Мударисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 7. – С. 27-30.
90. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене / [М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.]; за заг. ред. М.І. Черновола. – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.
91. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений / В.И. Нефедов – М.: Химия, 1984. – 256 с.
92. Новиков В.С. Повышение износостойкости рабочих органов плуга наплавкой керамическими материалами / В.С. Новиков, И.А. Беликов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 11. – С. 37-40.

93. Олемской А.И. Синергетика конденсированной среды / А.И. Олемской, А.А. Кацнельсон – М.: Едитоал УРСС, 2003. – 336 с.
94. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность / [П.М. Волков, Г.Г. Баловнев, В.И. Корешков и др.] : под. ред. П.М. Волкова, П.Н. Тененбаума.– М.: Машиностроение, 1977.–310с.
95. Основные виды продукции Торезского завода наплавочных твердых сплавов. – Донецк: Облполиграфиздат, 1987. – 29 с.
96. Панченко А.М. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих машин и оценка их эффективности для энергосберегающей техники: уч. пособие / А.М. Панченко, В.П. Штепа.-Днепропетровск: ДГАУ, 1995. – 96 с.
97. Пат. 20712 Україна, А01С 7/20. Сошник / Сисолін П.В., Сало В.М., Головка О.М., Бойченко С.Ф., Ляшенко А.С., Хроліков О.В.; заявник та патентотримач Кіровоградський інститут сільськогосподарського машинобудування. - №97020700; заявл. 18.02.1997; опубл. 27.02.1998, Бюл. №1.
98. Пат. 31569 Україна, А01В 59/00, А01В 63/00. Пристрій для дослідження параметрів функціонування робочих органів ґрунтообробних та посівних машин / Сало В.М., Дейкун В.А., Калашнік А.Л., Трикін М.М., Мартиненко С.В.; заявник та патентотримач Кіровоградський інститут сільськогосподарського машинобудування. - №98095106; заявл. 29.09.1998; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7- II
99. Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин / [под. общ. ред. М.М. Хрущова]. – М.: Машгиз, 1960. – 200 с.
100. Погораев Л.И. Методика оценки износостойкости материала при абразивном изнашивании по обобщенному критерию / Л.И. Погораев, В.А Огородников // Проблемы трения и изнашивания – К.- 1978. - №15. – С. 18-26
101. Попов В.С. Износостойкость сталей и сплавов: ВПК / В.С. Попов, Н.Н. Брыков. –Запоріжжя, 1996. – 180 с.

102. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: справочник / [под. ред. И.М. Федорченко и др.] – К.: Наукова думка, 1985. – 745 с.
103. Присевок А.Ф. Исследование износостойкости и механизма абразивного изнашивания наплавленных твердых сплавов / А.Ф. Присевок // Механизация и электрификация сельского хозяйства: сборник. – Минск, Ураджай. – 1973. – № 17. – С. 150-152.
104. Производство порошковой проволоки : учебное пособие для вузов / [И.К. Походня, В.Ф. Альтер, В.Н. Шлепаков и др.]. – К.: Вища школа, 1980. – 152 с.
105. Прокопцев П.И. Динамика формоизменения режущего элемента при изнашивании: анализ и управление / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельхозмашины. – 1997. – № 8. – С. 18-21.
106. Прокопцев П.И. Предпосылки повышения ресурса плужных лемехов / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельхозмашины. – 1998. – № 10. – С. 54-59.
107. Прокопцев П.И. Статистическая динамика изнашивания режущих элементов: модели, управление и прогноз / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 8. – С. 14-20.
108. Прокопцев П.И. Формула самозатачивания режущих элементов / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 9. – С. 26-28.
109. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся лапы культиваторов / А.Ш. Рабинович, В.И. Винокуров // Колхозное производство. – 1960. - № 3. – С. 12-14.
110. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин / А.Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1962. – 107 с.

111. Рабинович И.П. Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин / И.П. Рабинович, А.Н. Розенбаум, И.А. Ниловський // Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. – ВИСХОМа, 1959. – С. 142-147.
112. Радомысельский И.Д. Конструкционные порошковые материалы / И.Д. Радомысельский, Г.Т. Сердюк, М.И. Щербань. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.
113. Ревеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости / В.В. Ревеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.
114. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
115. Реология / [под ред. Ф. Эйриха]. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 824 с.
116. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для рабочих органов почвообрабатывающих орудий / А.Н. Розенбаум // Труды ВИСХОМа: Исследование материалов деталей с.-х. машин. ОНТИ. – 1969. – Вып. 53 – 143 с.
117. Рыбакова Л.М. Рентгенографический метод скользящего пучка лучей и его возможности при исследовании избирательного переноса и поверхностей трения твердых тел. / Л.М. Рыбакова // Эффект безизносности в триботехнологии. – 1997. – № 1. – С. 54 – 66.
118. Саїнсус О.Д. Експериментальне визначення динаміки зміни тягового опору культиваторних лап від наробітку / О.Д. Саїнсус, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград, 2004. – Вип. 34. – С. 8-12.
119. Сало В.М. Обґрунтування форми стеблелініймача сошника для прямої сівби зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан, С.Я. Гончарова, П.Г. Лузан. Вип. 21.- Том II.- Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011.- С. 64-74.
120. Сало В.М. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний ресурс] / В.М. Сало, С.І. Шмат, П.Г. Лузан //

- Международная научно-техническая интернет конференция «Задачи земледельческой механики в XXI веке», 2-10 ноября 2011 г.– Дослидницьке – Мелитополь, 2011.– С. 61–65.
121. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций / А.А. Свешников – М.: Наука, 1968. – 463 с.
 122. Севернев М.М. Определение срока службы деталей машин при абразивном износе / М.М. Севернев // Труды науч. конф. ВИМЭСХ. – Минск: Сельхозиздат БССР, 1961. – С. 91-108.
 123. Сільськогосподарські машини. Посівні машини / [М.В. Бакум, І.С. Бобрусь, А.Д. Михайлов та ін.]; за ред. М.В. Бакума. – [ч. 3] – Харків: 2005. – 32 с.
 124. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
 125. Сысолин П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование / П.В. Сысолин, Л.В. Погорелый – К.: Феникс, 2005. – 264 с.
 126. Сисолін П.В. Теорія, проектування та розрахунки посівних машин: навч. Посібник / П.В. Сисолін – К.: ІСДО, 1994. – 148с.
 127. Сисолін П.В. Нові сошники для якісної сівби зернових культур / П.В. Сисолін, А.І. Бойко // Техніка АПК. – 2005. - № 3. – С. 8-9.
 128. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
 129. Сорокин Г.М. Абразивное изнашивание высокопрочных сталей в различных условиях контактного взаимодействия. / Г.М. Сорокин, С.Н. Бобров // Трение и износ. – 1986. – Т. VII, №4. – С. 714-717.
 130. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов / Г.М. Сорокин – М.: ОАО «Недра», 2000. – 317 с.

131. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.
132. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М.М. Тененбаум – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
133. Тененбаум М.М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин / М.М. Тененбаум, С.Н. Шамшетов – Нукус: Каракалпакстан, 1986. – 150 с.
134. Теория и практика нанесения защитных покрытий / [П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф.Ильющенко и др.] – Минск: Беларуская навука, 1998. – 583 с.
135. Термическая обработка в машиностроении: справочник / под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.:Машиностроение, 1980. – 783 с.
136. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / С.П. Тимошенко – К.: Наукова думка, 1972. – 578 с.
137. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
138. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.
139. Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника) / [А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.]; под общ ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
140. Физика твердого тела [Текст] / В. Д. Кузнецов. Т. IV : Материалы по физике внешнего трения, износа и внутреннего трения твердых тел / отв. ред. М. А. Большанина. – Томск : Полиграфиздат, 1947. – 542 с
141. Физическая мезомеханика и компьютерное моделирование материалов / [под ред. В.Е. Панина]. – Новосибирск: Наука, 1995.
142. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьянц. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.

143. Хатеев В.М. Определение оптимальной грануляции порошковых твердосплавных материалов для армирования поверхностей трения / В.М. Хатеев, А.В. Поляченко – Труды ГОСНИТИ., 1985. – Т. 72
144. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали / Ф.Ф. Химушин. – М: Машиностроение. 1967. – 797 с.
145. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев – М.: Наука, 1970. – 252 с.
146. Черновол М.И. Обоснование предельных размеров дисков сошников зерновых сеялок / М.И. Черновол, Ю.В. Мачок // Разработка и производство сельскохозяйственных машин: сб. науч. работ. – К.: УМК ВО, 1988. – С. 7-10.
147. Черновол М. И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями: автореф. дис. на получение науч. степени докт. техн. наук: 05.20.03 «Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники» / М.И. Черновол. – 1992. – 35 с.
148. Черновол М. И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: учеб. пособие / М.И. Черновол – К.: Вища школа., 1992. – 79 с.
149. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей машин с помощью новых износостойких материалов / М.И. Черновол. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1990. – 64 с.
150. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей с.-г. техники / М.И. Черновол.– К.: УМК ВО, 1989.– 256 с.
151. Черновол М. И. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин: учебн. пособие / М.И. Черновол, Ф.И. Златопольский, Л.А. Лопата. – Кировоград, 1994. – 83 с.
152. Чистяков А.В. Влияние физико-механического и структурного состояния поверхностного слоя деталей на их износостойкость / А.В. Чистяков.– Новочеркасск, 1987. – 16 с.

153. Шехтер С.Я. Наплавка металлов / С.Я. Шехтер, А.М. Резницкий. – М.:Машиностроение, 1982. – 71 с.
154. Шведков Е.Л. Определение и толкование понятия “керамика” / Е.Л. Шведков, И.И. Ковенский, Т.Г. Куценюк // Вестник машиностроителя. – 1986. - № 2. – С. 35-39.
155. Ярмоленко М.В. Быстрый нагрев: ускорение диффузии и структурные изменения в системах Fe-Cr и Fe-Ni-Cr / М.В. Ярмоленко // Металлофизика и новейшие технологии. - 1994. - Т. 16, № 6. - С. 63-71.
156. Drouin C.W. Some fundamentals of wear and corrosion resistance overlays / C.W. Drouin // Proceeding of the maintenance conference. Mont Gabriel. - 1986. - S. 55-57.
157. Dustoor M.R. Tailored coating for pardfacing. Proceedings of the annual powder metallurgy conference / M.R. Dustoor, L.N. Moskovitz..- 1983.- №39.- S. 307-321.
158. Moderne Satechnik fur Getreide, Raps und Leguminosen. DLG-Merkblatt 306, DLG, Frankfurt, 1998.
159. Pelletier L. Semoirs pneumatiques in progression / L. Pelletier // France agricole.- 1987. - №4.-P.55.
160. Selective surfacing takes the brunt of High abrasive wear. "Weld. J.", 1982. - 61, №2 11. - P. 56.
161. Thornley J.H. M. Energy, respiration and growth in plants / J.H. Thornley // Annals of botany. 1981. - №35. - Pp. 721 - 728.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. АНАЛІЗ ПРИЧИН НИЗЬКОЇ НАДІЙНОСТІ ТА СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СОШНИКІВ ПОСІВНИХ МАШИН	4
1.1. Конструктивні характеристики, класифікація та основні напрямки вдосконалення сошників посівних машин.....	4
1.2. Умови роботи та характер спрацювання ґрунторізальних елементів сошників з вертикально розміщеним лезом.....	8
1.3. Аналіз існуючих розрахункових методів оцінки довговічності різальних елементів робочих органів ґрунтообробних та посівних машин.....	13
1.4. Способи підвищення довговічності різальних елементів ґрунтообробних і посівних машин.....	21
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ҐРУНТОРІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК	32
2.1. Аналіз взаємодії полозкового сошника з ґрунтом.....	32
2.2. Динаміка зміни профілю леза полозу сошника.....	39
2.3. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу.....	42
2.4. Проектування складу композиційного кераміко-металевого зносостійкого покриття.....	45
2.5. Тяговий опір сошника.....	54
3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	62
3.1. Програма та загальна методика експериментальних досліджень.....	62
3.2. Методика конструювання сошника з навареною кераміко-металевою стрічкою.....	62

3.2.1. Отримання композиційних кераміко-металевих стрічок для зміцнення лез різальних елементів сошників.....	62
3.2.2. Контактне наварювання композиційних кераміко-металевих стрічок на плоскі лабораторні зразки та сошники.....	66
3.3. Методика дослідження величини та характеру зношування ґрунторізальних елементів в лабораторних умовах.....	69
3.3.1. Умови проведення лабораторного експерименту та дослідження зносу ґрунторізальних елементів.....	69
3.3.2. Дослідження змін геометрії зразків і леза полозу сошника та процесу самозагострювання.....	72
3.4. Методика дослідження структури, елементного складу і фізико-механічних властивостей наварених композиційних покриттів	73
3.4.1. Мікроструктура та елементний склад.....	73
3.4.2. Мікротвердість.....	74
3.4.3. Пористість.....	74
3.4.4. Напружений стан.....	74
3.5. Методика стендових випробувань величини та характеру зношування сошників.....	77
3.5.1. Круговий стенд прискорених випробувань сошників	77
3.5.2. Дослідження динаміки зношування та самозагострювання лез.....	79
3.6. Методика польових випробувань полозів сошників.....	81
3.7. Обладнання та методика визначення енергетичних характеристик сошників.....	83
3.7.1. Пристрій для дослідження тягового опору.....	83
3.7.2. Методика визначення тягового опору сошників	85
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ....	87
4.1. Величина і характер зношування полозів стандартних сошників зернових сівалок.....	87

4.2. Величина і характер зношування незагострених полозів сошників.....	90
4.3. Структура та склад композиційних кераміко-металевих стрічок.....	93
4.4. Властивості поверхневих шарів композиційних покриттів..	96
4.4.1. Мікроструктура	96
4.4.2. Мікротвердість.....	100
4.4.3. Пористість.....	102
4.4.4. Внутрішні напруження.....	103
4.5. Величина та характер зношування зміцнених лабораторних зразків.....	108
4.6. Величина та характер зношування зміцнених сошників	112
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ І ТЯГОВОГО ОПОРУ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ЗІ ЗМІЦНЕНИМИ ПОЛОЗАМИ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПОЛОЗІВ СОШНИКІВ..	116
5.1. Результати експлуатаційних випробувань експериментальних сошників зернових сівалок	116
5.2. Рекомендації для впровадження конструкції полозу з привареною композиційною стрічкою до його леза у виробництво.....	121
5.3. Економічна ефективність від впровадження запропонованої конструкції сошників зернових сівалок	121
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129

Наукове видання

**Черновол Михайло Іванович
Сало Василь Михайлович
Мачок Юрій Вікторович
Лузан Петро Григорович
Мартиненко Станіслав Володимирович**

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ЗАГОРТАЮЧИХ СИСТЕМ ПОСІВНИХ МАШИН**

Редактор: Сало В.М.

Комп'ютерна верстка: Мачок Ю.В.